
**EL FERROCARRIL
METROPOLITANO
ALFONSO XIII
DE
MADRID**



MIGUEL OTAMENDI
Director Gerente de la Compañía
Metropolitano Alfonso XIII



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

EL FERROCARRIL
METROPOLITANO
ALFONSO XIII
DE
MADRID



MIGUEL OTAMENDI
Director Gerente de la Compañía
Metropolitano Alfonso XIII



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

R. 6194

453/115

BLASS S. A. MADRID



FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO

CON motivo de la celebración en Madrid del "Congreso Internacional de Ferrocarriles", la Compañía Metropolitana Alfonso XIII ha editado este folleto descriptivo de sus obras y de los resultados de su explotación, redactado en tres idiomas: español, francés e inglés, y lo ofrece a los señores Congressistas, en recuerdo del Madrid que hoy visitan, y como testimonio de afecto y gratitud a cuantos con su asistencia y cooperación han contribuido al mayor éxito de tan importante Certamen.

Al'occasion de la célébration à Madrid du "Congrès International des Chemins de Fer", la Compagnie du Métropolitain Alfonso XIII a édité en trois langues: espagnol, français, anglais, cette brochure descriptive de ses travaux et des résultats de son exploitation. Elle se fait un honneur de l'offrir à M. M. les Congressistes, en souvenir du Madrid qu'ils visitent aujourd'hui et en témoignage d'affection et de gratitude envers tous ceux qui, par leur aide et leur coopération précieuses, ont contribué au succès de cet important Congrès.

ON the occasion of the "International Railway Congress", held in Madrid, the Metropolitan Underground Railway Co has published this descriptive booklet of its construction and operating results, printed in three languages, Spanish, French and English, and presents it to the Delegates as a Souvenir of the Madrid which they are now visiting, and as a mark of esteem and appreciation to all who, by their presence and cooperation, have helped to make this important Conference a success.



... de la ...

... de la ...

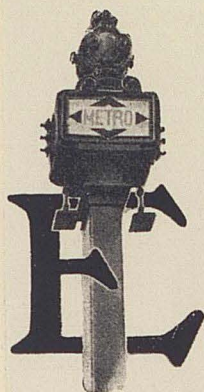
... de la ...

... de la ...

... de la ...

El ferrocarril Metropolitano Alfonso XIII, de Madrid

I. CONSTRUCCION DE LA RED METROPOLITANA MADRILEÑA



Antecedentes.

N Mayo de 1914, se solicitó del Ministerio de Fomento la concesión de un ferrocarril subterráneo en Madrid, compuesto de varias líneas que, formando una red de catorce kilómetros de longitud, cruzaban la población y servían a sus zonas más importantes.

Su trazado se estudió, desde el primer momento, con una visión de conjunto de las necesidades presentes y futuras de la capital, de sus probables desarrollos, de modo que esta primera red pudiese extenderse para ir atendiendo a las nuevas demandas de tráfico, que el crecimiento de Madrid había de exigir.

El censo oficial de la población, que a principios de este siglo era de 550.000 vecinos, es en la actualidad de 809.000, y si se añaden los no incluidos en esta relación oficial y los de las populosas barriadas próximas de Tetuán y Puente de Vallecas, situadas fuera del término municipal de Madrid, y a las que llega ya el ferrocarril metropolitano, puede estimarse en muy cerca del millón de habitantes, la total población de la zona afectada por el trazado de este moderno medio de transporte.



Previo la tramitación exigida por la ley, el Ministerio de Fomento, por R. O. de 12 de Enero de 1917, otorgó la concesión del metropolitano madrileño, por un plazo de 99 años y como ferrocarril secundario, sin garantía alguna del Estado.

Constitución de la Compañía Metropolitano Alfonso XIII.

Pocos días después, el 24 de Enero de 1917, se constituyó la actual Compañía Metropolitano Alfonso XIII, con un capital de 10.000.000 de pesetas, y fué tal la confianza y entusiasmo que despertó el nuevo ferrocarril, que todas las acciones fueron adquiridas por españoles, acudiendo a la suscripción las más prestigiosas firmas de Vizcaya, Barcelona y Madrid, figurando



Fig. 2: Pozo de trabajo frente al Banco de España.

Fig. 2: Puits de travail en face la Banque d'Espagne.

2: Working pit before the Bank of Spain.



Fig. 1.—PLAN GÉNÉRAL du réseau.

— Lignes en exploitation.
- - - Lignes en projet.

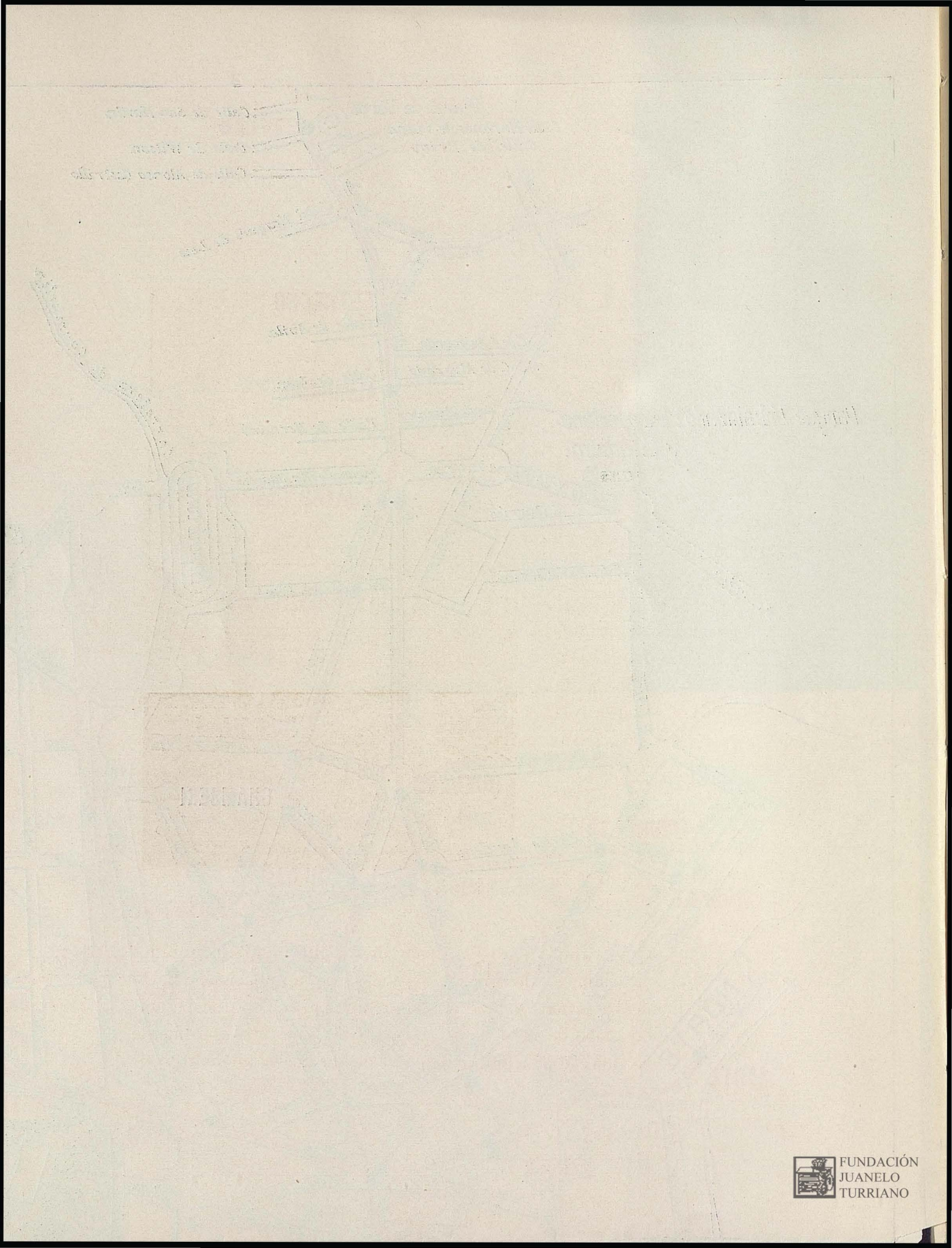
Fig. 1.—PLANO GENERAL de las líneas en explotación y en construcción.

— Líneas en explotación.
- - - Líneas en proyecto.

1.—GENERAL PLAN of the system.

— Lines working
- - - Lines planned

FUNDACIÓN
JUANELO
TURRIANO



entre los accionistas desde las más altas personalidades de la Nación, hasta los más modestos representantes del pequeño ahorro.

Se decidió construir primeramente la línea N.º 1, Norte-Sur, desde Cuatro Caminos a la Puerta del Sol (Fig. 1), con ocho estaciones y longitud total de 3.598 metros, que enlaza la densa barriada obrera de los Cuatro Caminos con el centro de la población, que es la Puerta del Sol, y al empezar los trabajos en Julio de 1917, se puso en la valla del primer pozo de ataque, en la Puerta del Sol, esta inscripción: «INAUGURACION DE LA LINEA N.º 1, NORTE-SUR: OCTUBRE 1919».

A pesar de las grandes dificultades para adquirir los materiales en esta época de la post-guerra, la Compañía Metropolitana Alfonso XIII cumplió lo ofrecido y, exactamente, con puntualidad cronométrica, en Octubre de 1919, se abrió al servicio público el primer ferrocarril subterráneo de nuestra patria, con éxito financiero tan inmediato, que se acordó en

el acto aumentar su capital para construir nuevas líneas. Los resultados favorables de éstas han ido decidiendo las sucesivas ampliaciones hasta llegar, en el momento actual, a tener la Compañía 46.000.000 de pesetas en acciones y 58.000.000 de pesetas en obligaciones, aportadas totalmente por el ahorro nacional, y a explotar una red de dieciocho kilómetros de longitud.

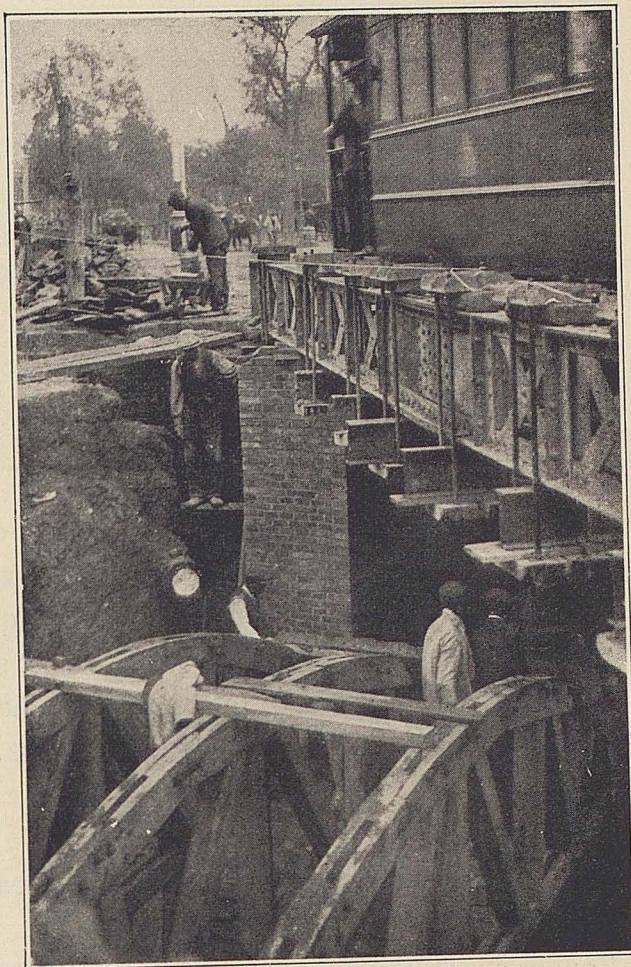


Fig. 3: Trabajos en zanja abierta.

Fig. 3: Travaux en tranchée ouverte.

3: Open trench excavation.

Las fechas de inauguración de cada uno de los trozos y sus respectivas longitudes útiles de explotación, son las siguientes:

L I N E A S	Fecha de inauguración.	Long. kms.
Norte-Sur = Cuatro Caminos-Sol	17 Octubre. 1919	3.598
Norte-Sur = Sol-Atocha	26 Diciembre 1921	1.808
Norte-Sur = Atocha-Vallecas.	8 Mayo. 1923	2.297
Este-Oeste = Ventas-Sol.	16 Junio. 1924	3.816
Este-Oeste = Sol-Quevedo	21 Octubre. 1925	2.238
Ramal Isabel II-Norte	26 Diciembre. 1925	1.059
Norte-Sur = Cuatro Caminos-Tetuán. ...	6 Marzo 1929	1.741
Este-Oeste = Quevedo-Cuatro Caminos..	10 Septiembre. ... 1929	1.463
		18.020

Todo el personal encargado, tanto de la construcción como de la explotación, es español y se han empleado preferentemente materiales nacionales, habiéndose traído del extranjero tan sólo aquellos elementos que, como los motores de tracción, reguladores de mando, señales eléctricas, rectificadores de mercurio, etc., no se fabrican en España, y que suman escasamente el 5 por 100 del capital invertido en la empresa.

Descripción general del trazado.

En la actualidad esta red de 18.020 metros de longitud está formada por las siguientes líneas (Fig. 1):

Línea N.º 1, Norte-Sur, cuyo recorrido es Tetuán-Cuatro Caminos-Puerta del Sol-Atocha-Vallecas, de 9.444 metros de longitud.

Línea N.º 2, Este-Oeste, cuyo recorrido es Ventas-Puerta del Sol-Isabel II-Quevedo-Cuatro Caminos, de 7.517 metros de longitud, que cruza, en Puerta del Sol, por encima de la anterior, y termina en Cuatro

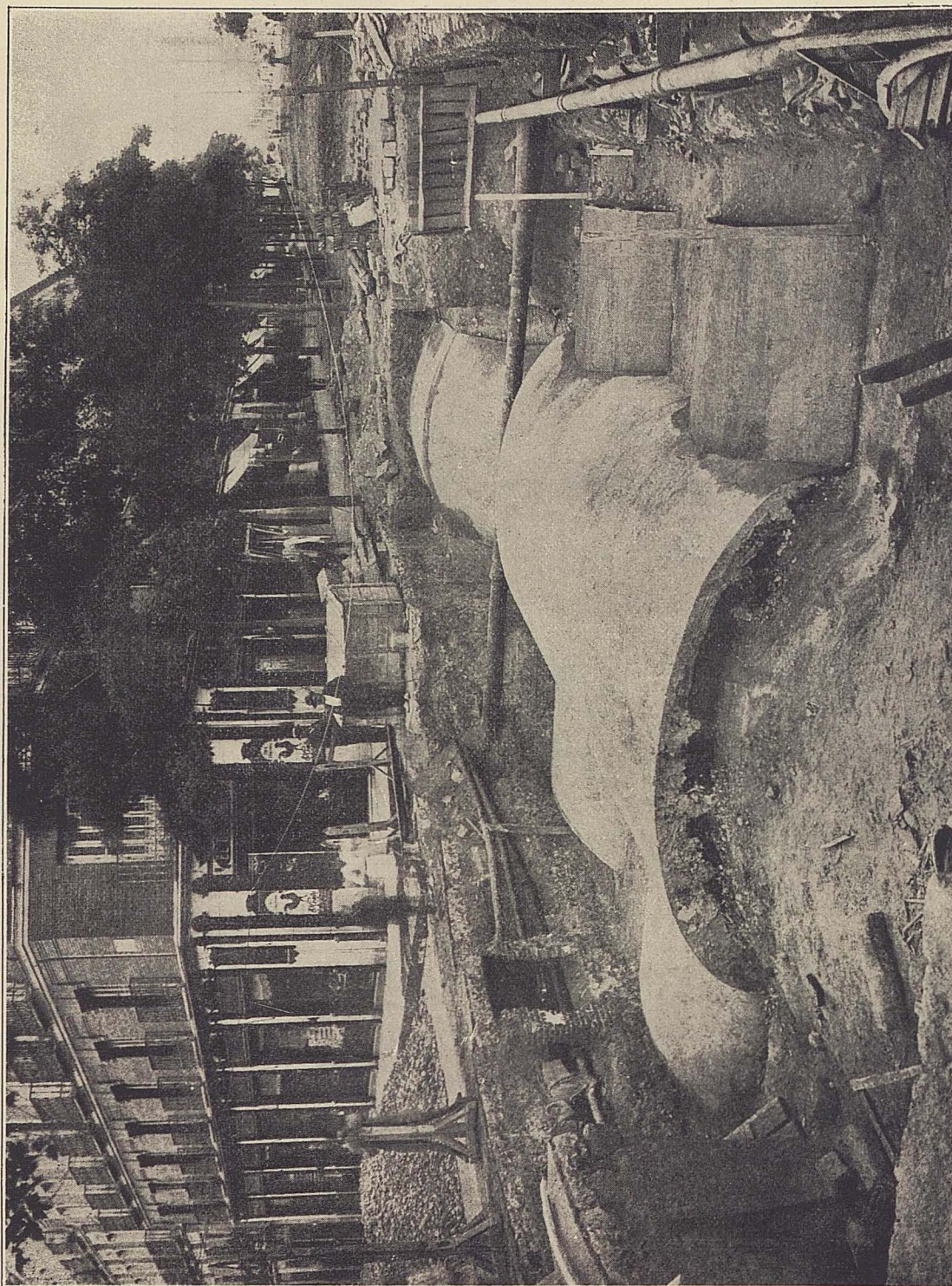


Fig. 6: Construcción del vestíbulo de la estación Príncipe de Vergara. En el terreno se ha preparado el molde para hormigonar la bóveda del vestíbulo.

Fig. 6: Construction du vestibule de la station Príncipe de Vergara. Sur le terrain on a préparé le moule pour bétonner la voûte du vestibule.

Caminos, en una estación adosada a la de igual nombre de la línea N.º 1 y a su mismo nivel. Dicha estación tiene una vía de maniobra que va a los talleres de Cuatro Caminos, y sirve así de enlace entre las dos líneas N.º 1 y N.º 2.

Línea Isabel II-Estación del Norte, de 1.059 metros de longitud, cuya estación de Isabel II está adosada y al mismo nivel de la de igual nombre de la línea N.º 2, y que funciona como un ramal independiente.

Los trabajos de construcción de esta red se han llevado a cabo, sin que por un solo momento se haya interrumpido la circulación rodada de las calles afectadas por las obras (Figs. 2 y 3).

Túnel corriente.

Toda la red se desarrolla en túnel de doble vía, de 1,445 metros de anchura; la sección normal de la galería (Figs. 4 y 5) tiene las dimensiones suficientes para que circulen coches de 2,40 metros de anchura, con toma de corriente eléctrica sobre hilo aéreo.

En aquellos lugares en que la circulación por las calles no es muy activa, y la traza del ferrocarril es poco profunda, la construcción del túnel ha sido a zanja abierta y las buenísimas condiciones del terreno han permitido emplear un sistema de construcción rápido, económico y que reduce al mínimo los riesgos durante su ejecución: consiste, en esencia, en abrir en la calle dos estrechas zanjas de 0,95 metros de anchura, paralelas y separadas seis metros, que, macizadas después de hormigón, constituyen los estribos; a continuación, levantado el pavimento de la calle, se abre una zanja entre dichos estribos, cuyo fondo dibuja exactamente el intradós de la bóveda, y sobre esta cimbra de tierra, previamente alisada y revestida de yeso, se echa el hormigón, construyéndose la bóveda por anillos de cuatro a seis metros de longitud; la zanja se terraplena y pasado el tiempo preciso para que la fábrica fragüe, se hace en túnel la destroza y solera de la galería.

Este sistema se aplicó también en la construcción de los vestíbulos de algunas estaciones (Fig. 6).

En los lugares en los que, bien la estrechez de las calles o su intenso tráfico, o bien la mayor profundidad del trazado, impedía emplear este sistema de ejecución, se ha construido el túnel por el sistema corriente



Fig. 7: Sección del túnel con techo plano y apoyos intermedios en la Plaza de la Cibeles.

Fig. 7: Section du tunnel à plafond plat et appuis intermédiaires de la Place de la Cibeles.

7: Section of tunnel with flat roof and intermediate supports in the Plaza de la Cibeles.

belga, comenzando por la bóveda, que es de mampostería o ladrillo, continuando por los estribos de idénticos materiales, la destroza y, por último, la soleira de hormigón.

Dada la angostura de algunas calles del casco antiguo de Madrid, y su tortuoso recorrido, ha sido preciso llevar el túnel en ocasiones por debajo de las casas, y es digno de hacerse notar que todos los propietarios de las fincas afectadas por los trabajos, han dado gratuitamente las oportunas autorizaciones para ello, en su deseo de contri-

buir a la realización de esta obra, que tanto beneficio reporta al vecindario.

En algunos sitios especiales, como la Plaza de la Cibeles, la sección del túnel es de techo plano con apoyos intermedios (Fig. 7), pero como su coste es superior al de la sección normal en bóveda de fábrica, sólo se emplea aquella disposición, cuando las canalizaciones del subsuelo dejan

una escasa altura disponible entre ellas y el pavimento, y hay que reducir al mínimo la altura del túnel.

En el trazado de la red, la curva de radio mínimo es de 85 metros. Las rampas máximas son de 5 por 100, y se ha conseguido, gracias a ello, que las estaciones se hallen a muy poca profundidad, y que sus accesos, de pocos escalones, sean cómodos, ventaja muy apreciada por los viajeros. Por excepción se hallan a bastante profundidad la estación inferior de la línea N.º 1 de la Puerta del Sol y la de la Gran Vía, y en ambas se han dispuesto ascensores que suben a los viajeros hasta el nivel de la calle (Fig. 8).

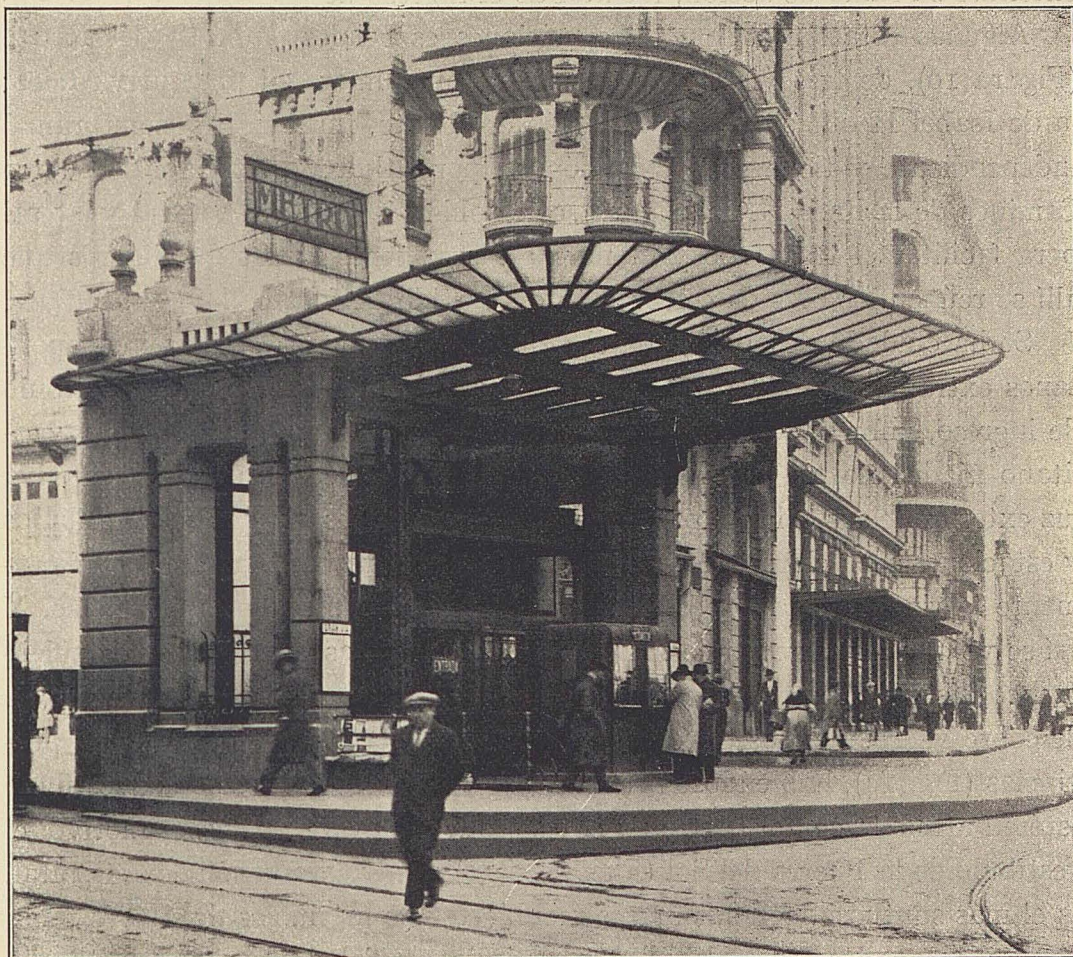


Fig. 8: Estación de Gran Vía con su ascensor.

Fig. 8: Station de la Gran Vía avec son ascenseur.

8: Gran Vía station and its elevator.

Estaciones y sus accesos.

La sección de la bóveda de fábrica de las estaciones (Fig. 9), es sensiblemente la de un arco elíptico, de catorce metros de luz exterior, que cubre la doble vía central y los dos andenes laterales. Todas las estaciones son de sesenta metros de longitud, y la anchura de los andenes es de cuatro metros en las estaciones de importancia y de tres metros en las restantes. La distancia media entre estaciones es de seiscientos metros próximamente y en ellas hay múltiples accesos con largas galerías de comunicación para extender su radio de acción, facilitando el ingreso de los viajeros (Fig. 15).

Algunas estaciones tienen disposiciones especiales, como la del Retiro (Figura 10), de tres vías, en previsión de empalmar allí una nueva línea; la de Isabel II que sirve a la Estación del Norte, funcionando como ramal independiente y tiene un solo andén, y, por último, la terminal de Cuatro Caminos de la línea N.º 2 (Fig. 11), con doble vía y andén central y lateral para facilitar el trasbordo y atender a las enormes masas de viajeros que allí se reúnen los días de celebración de partido de foot-ball en el Stadium.

Se ha cuidado de no caer en el defecto de la mayoría de los metropolitanos extranjeros, en los que adoptado un tipo de estación y de vestíbulo de ingreso, pobremente decorado, se repite incesantemente; en el metropolitano madrileño, es preciso atraer a un público acostumbrado a la viva luz exterior de sus calles y paseos, y para ello es necesario que sus vestíbulos y estaciones sean claros, alegres (Figs. 12 y 13), prestándose a ello perfectamente la rica variedad de cerámicas de las diversas regiones españolas. Y así se ve que las bóvedas de sus estaciones van todas recubiertas de azulejo blanco biselado, decoradas con amplias fajas de cerámica sevillana, en reflejo de cobre y oro, y en los testeros sobresalen los escudos de las diferentes provincias (Fig. 14), habiéndose procurado que la decoración de cada vestíbulo esté en armonía con el barrio en el que está enclavado; por este motivo, el vestíbulo de la Puerta del Sol (Figs. 15 a 19), centro y corazón de la Capital, es el más suntuoso, con sus muros recubiertos de mármoles de suaves tonalidades, coronados por ancho friso de cerámica de Toledo, en altorrelieve, que ostenta los escudos de las regiones españolas, destacándose sobre la clave de sus puertas principales los emblemas de la Provincia y Villa de Madrid.

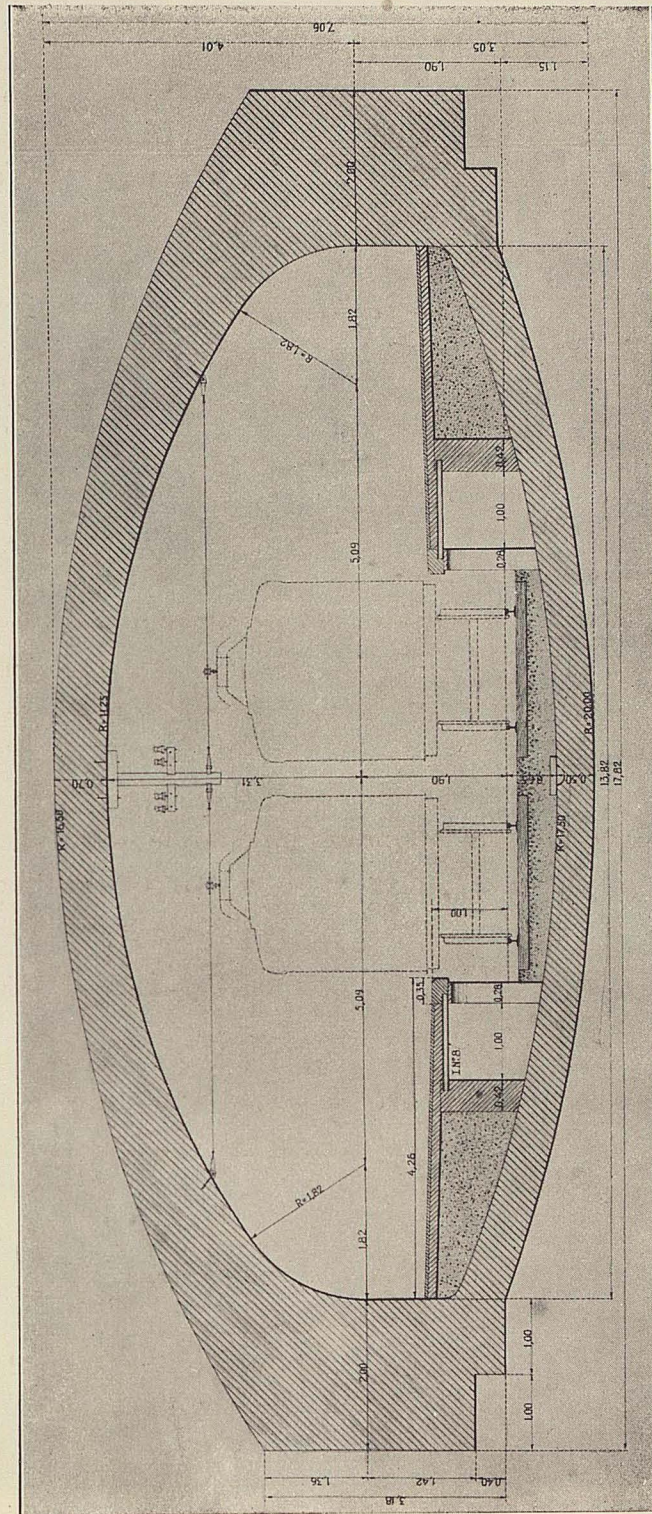


Fig. 9: Sección de Estación con andén de 4 metros de anchura.

Fig. 9: Section de station avec quai de 4 mètres de largeur.

9: Section of Station with platform 4 meters wide.

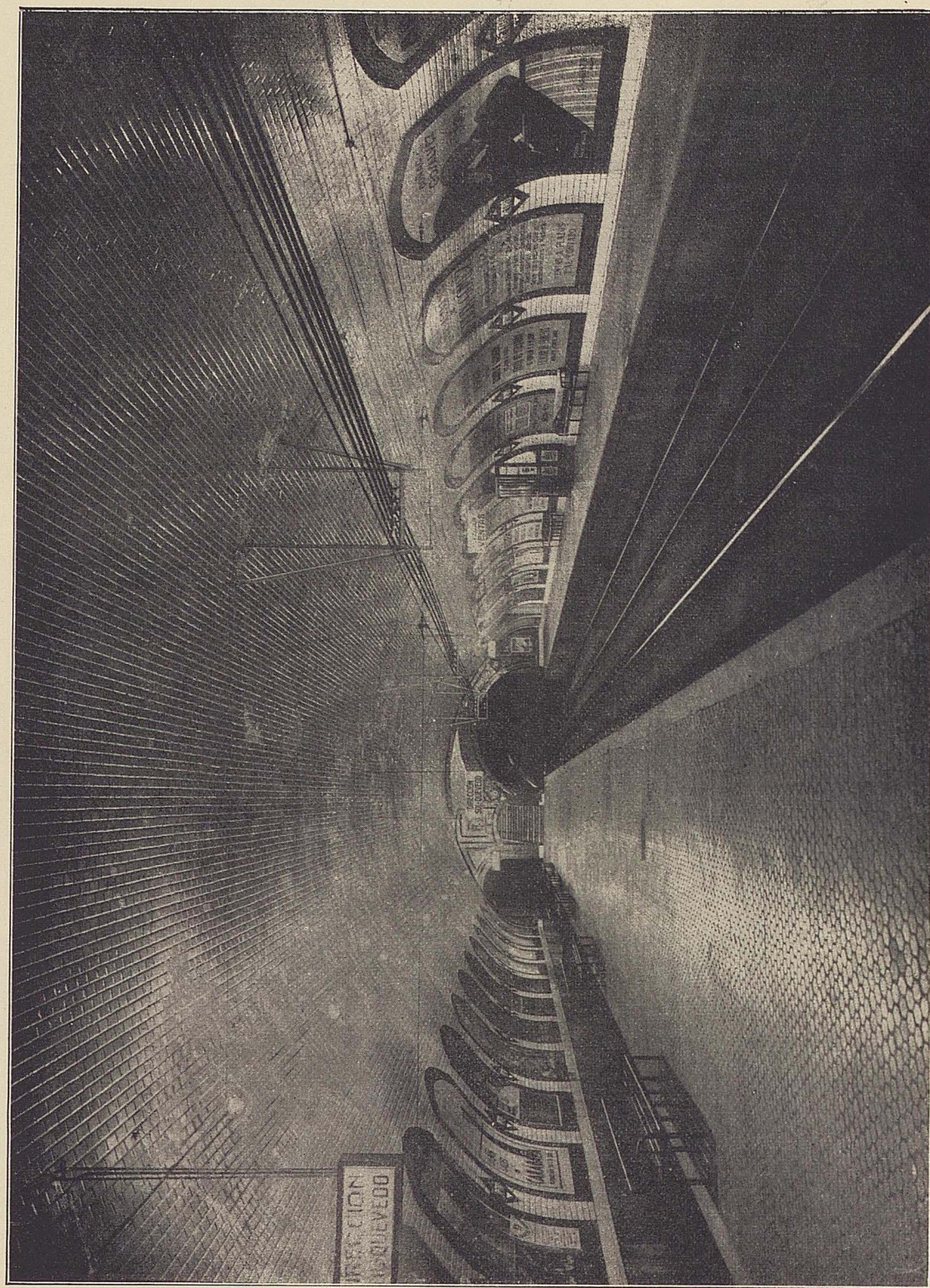


Fig. 10: Estación del Retiro, de triple vía.

Fig. 10: Station du Retiro, a triple voie.

10: Section of Retiro station, with three tracks.

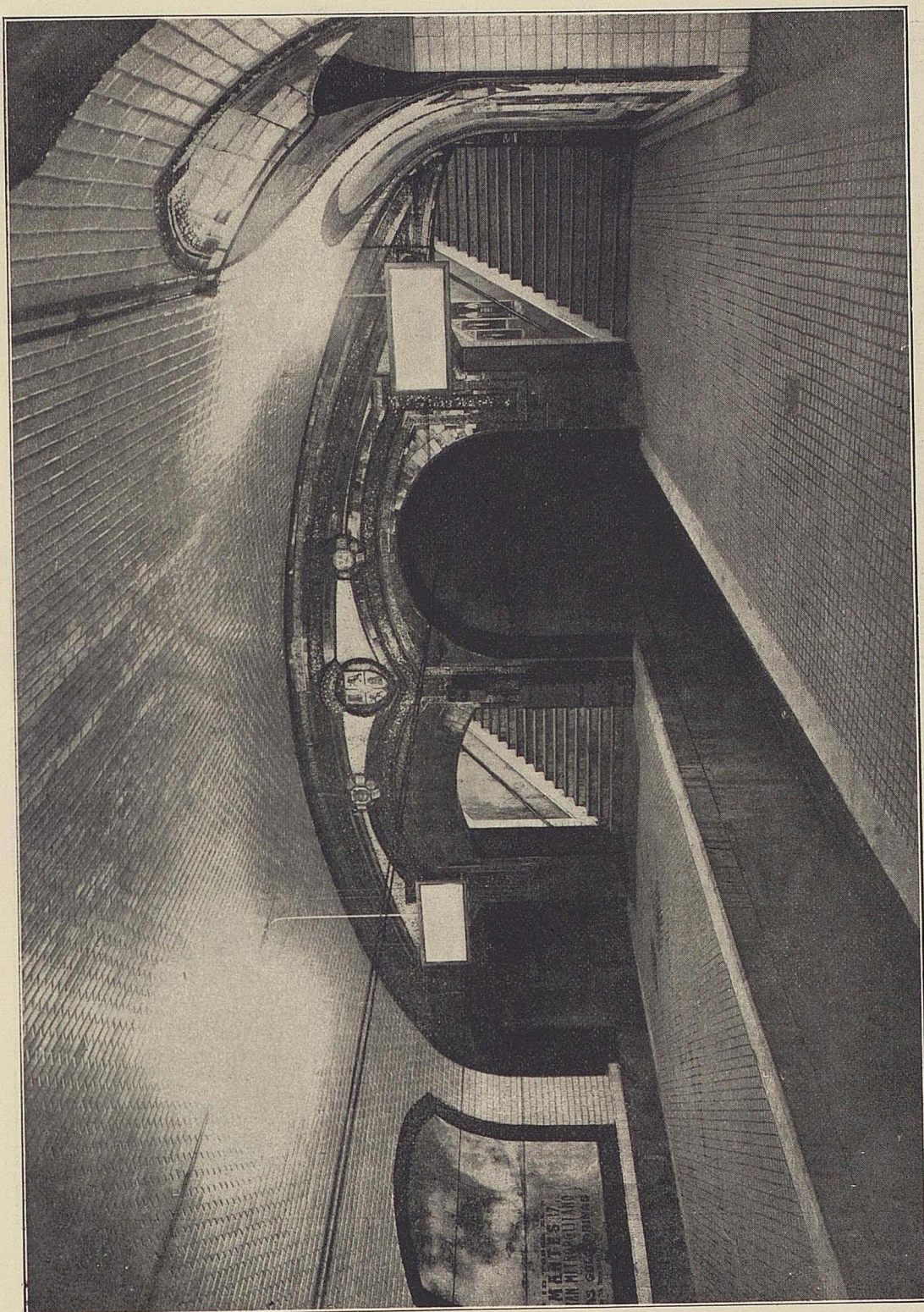


Fig. 11: Estación de Cuatro Caminos, con andén central.

11: Cuatro Caminos station, with central platform.

Fig. 11: Station de Cuatro Caminos, avec quai central.



Fig. 12: Escalinata de la Estación de Progreso.

21: Steps of the Progreso Station.



Fig. 13. Vestíbulo de la Estación de Progreso.

Fig. 13: Vestibule de la station de Progreso.

13: Lobby of the Progreso Station.

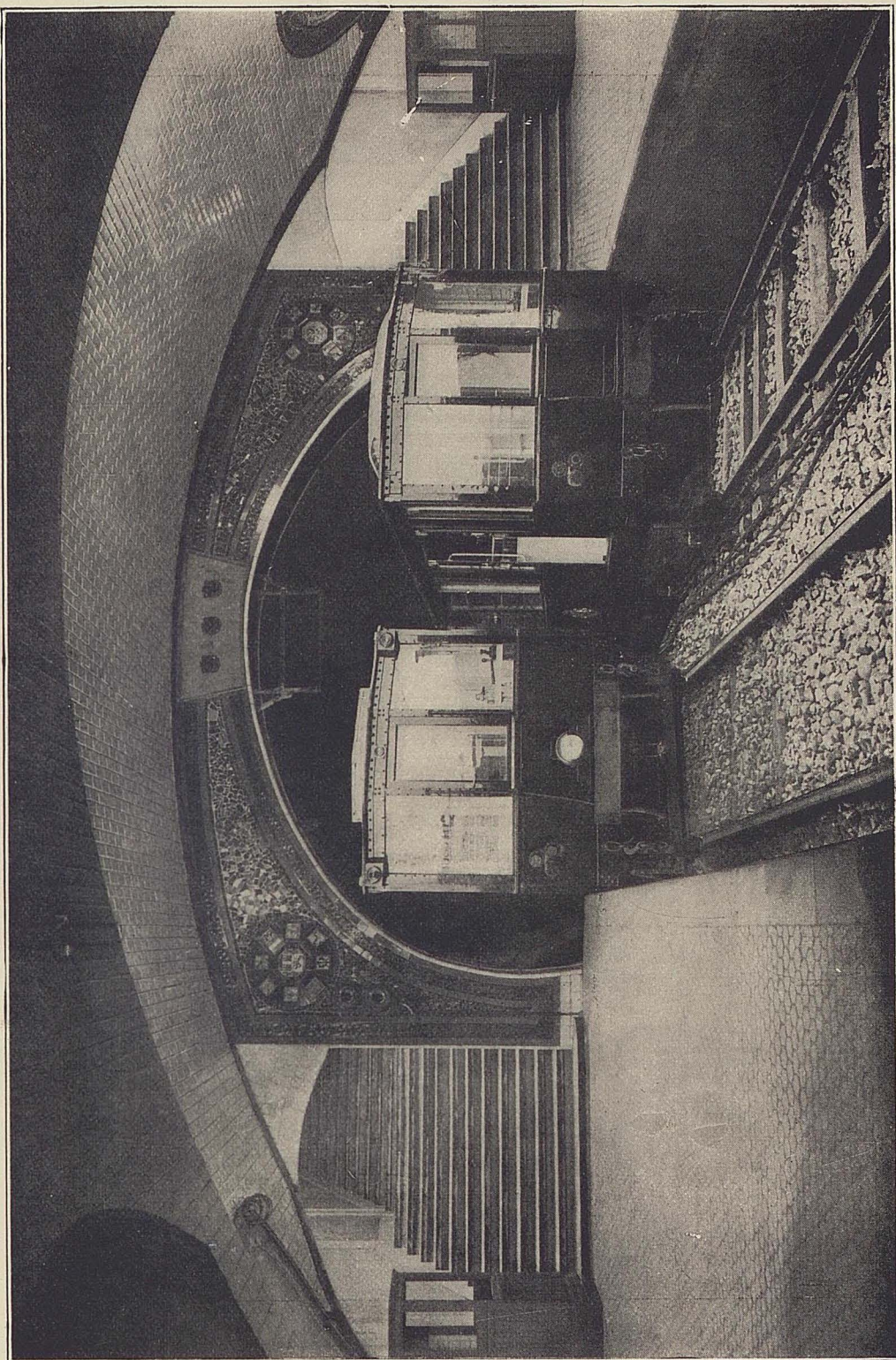


Fig. 14: Entrée d'une station.

Fig. 14: Embocadura de una estación.

14: Entrance of a station.



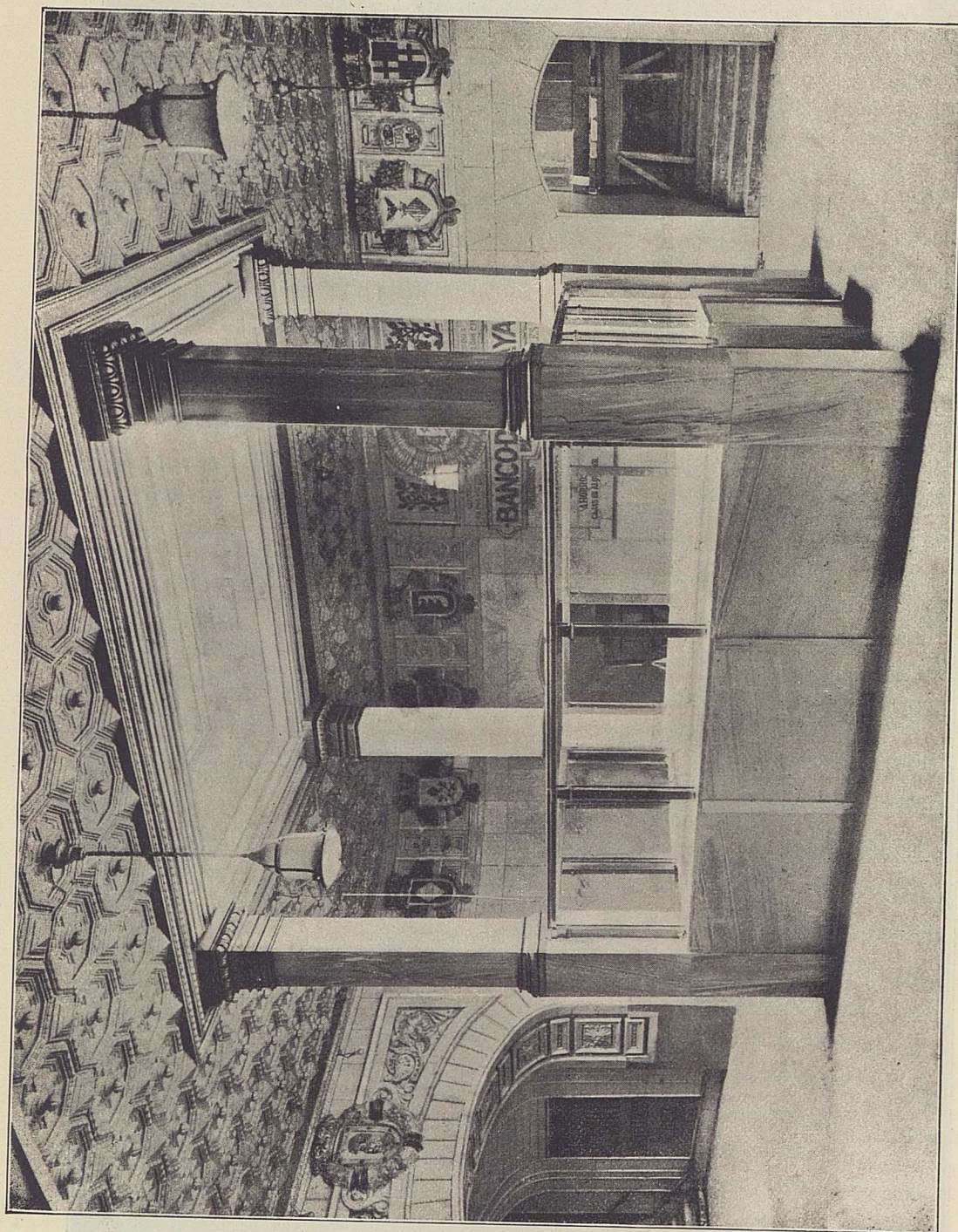


Fig. 17: Vestibule de la Puerta del Sol.

Fig. 17: Vestíbulo de la Puerta del Sol.

Lobby of the Puerta del Sol.

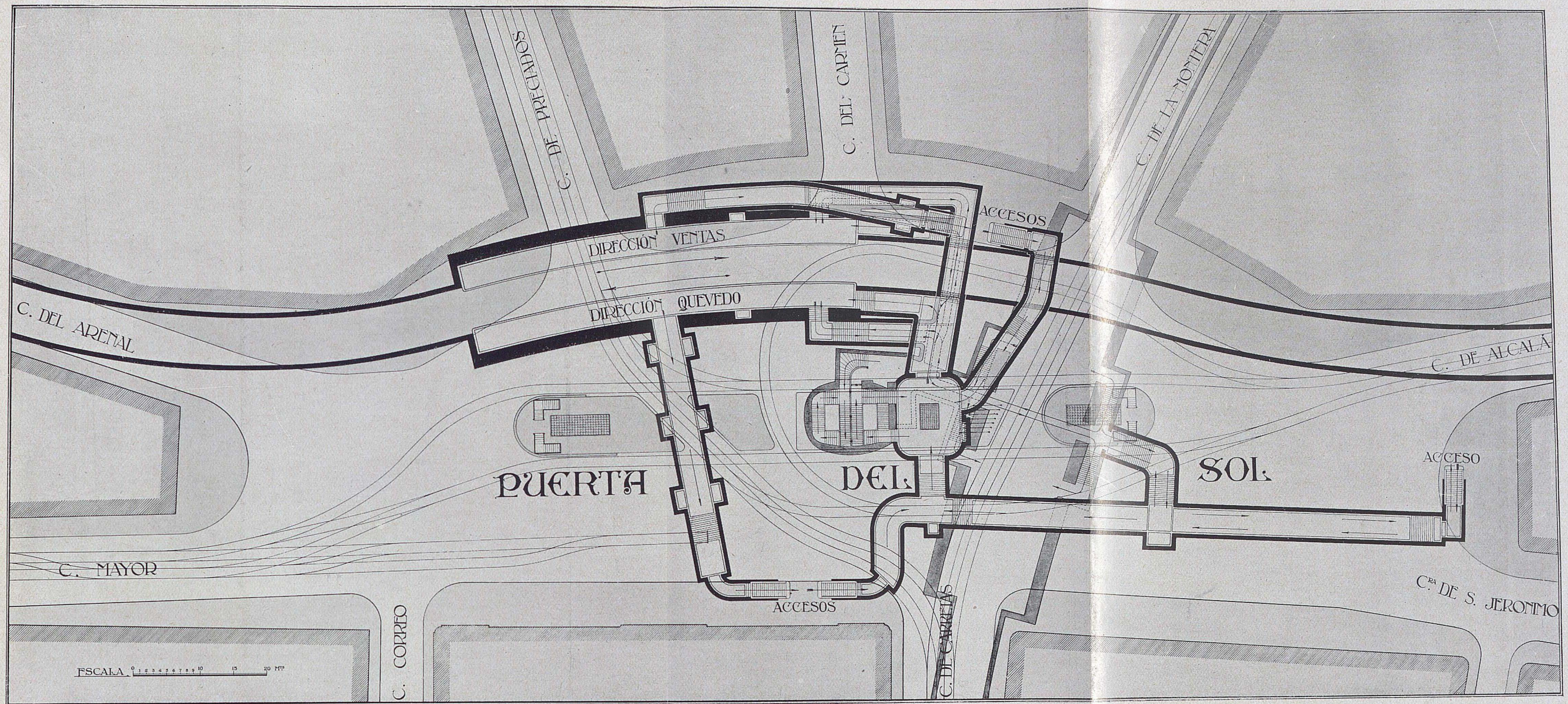


Fig. 15.—Plan général des accès de la Puerta del Sol.

Fig. 15.—Plano general de los accesos de la Puerta del Sol.

15.—General plan of entrances at the Puerta del Sol.

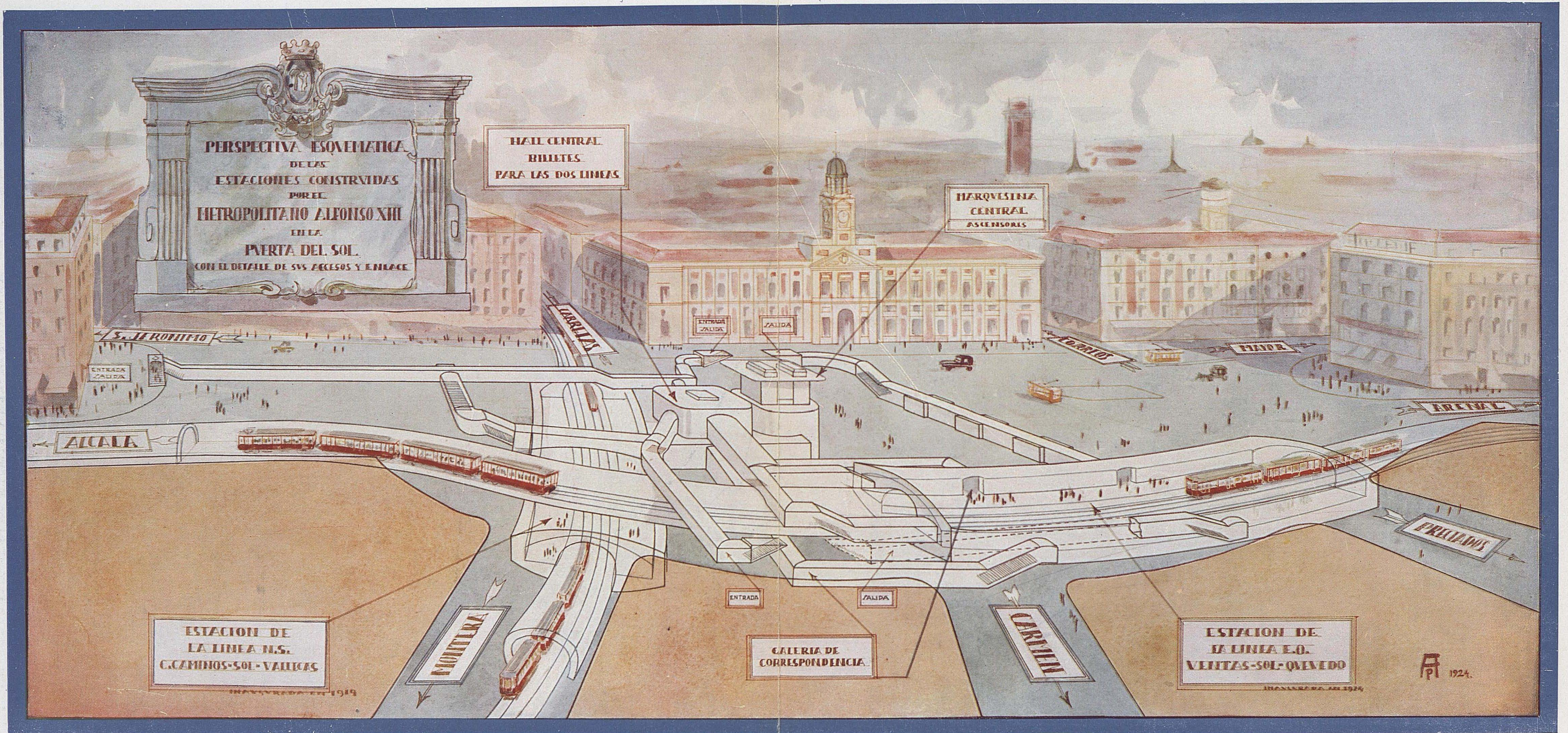


Fig. 16: Schéma en perspective des accès de la Puerta del Sol.

Fig. 16. Perspectiva esquemática de los accesos de las Estaciones de la Puerta del Sol.

16: Perspective sketch of entrances at the Puerta del Sol.

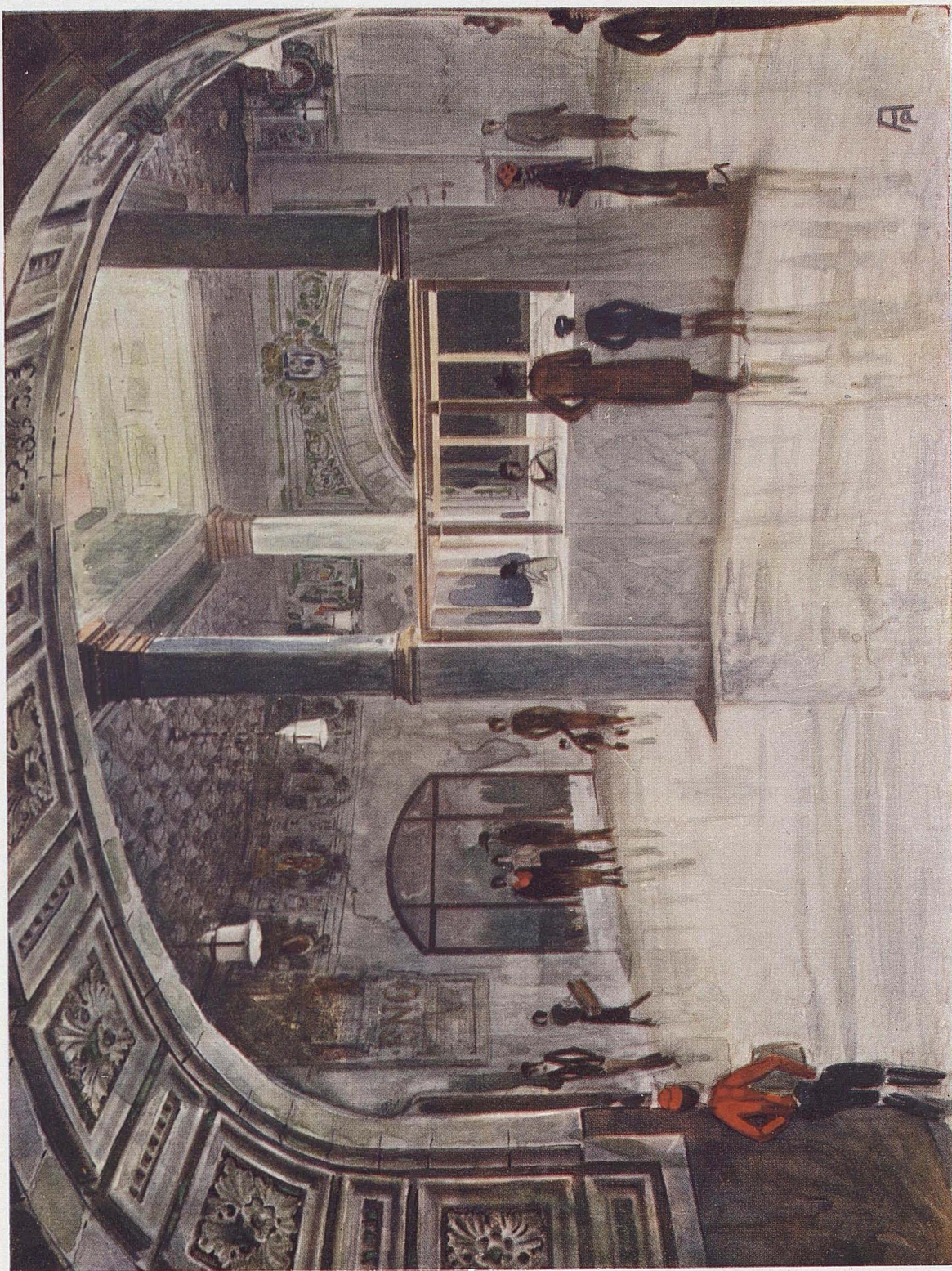


Fig. 18. Perspectiva del vestíbulo central de la Puerta del Sol.

18: Perspective of the lobby of the Puerta del Sol.

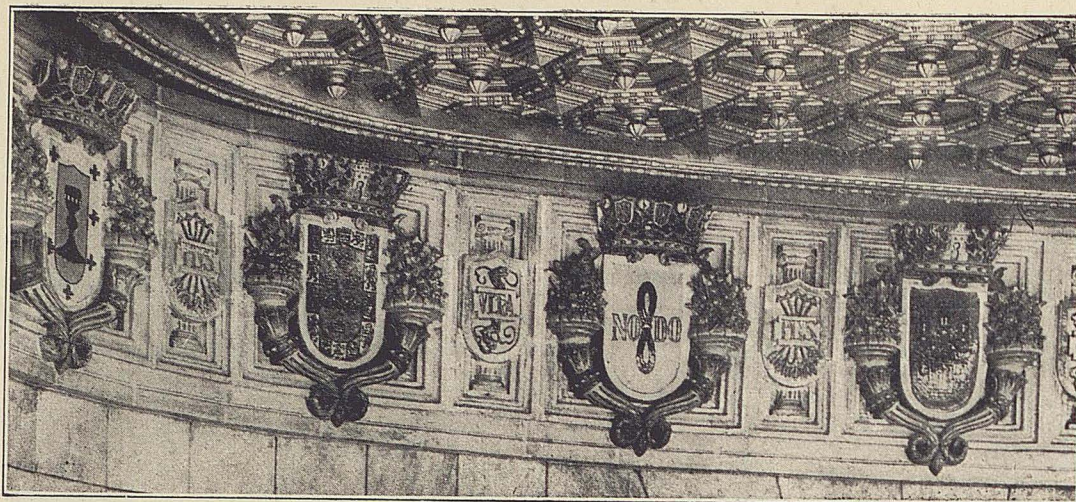
Fig. 18: Perspective du vestibule de la Puerta del Sol.



Fig. 19: Detalle del vestíbulo de la Puerta del Sol.

Fig. 19: Détail du vestibule de la Puerta del Sol.

19: Details of the lobby of the Puerta del Sol.

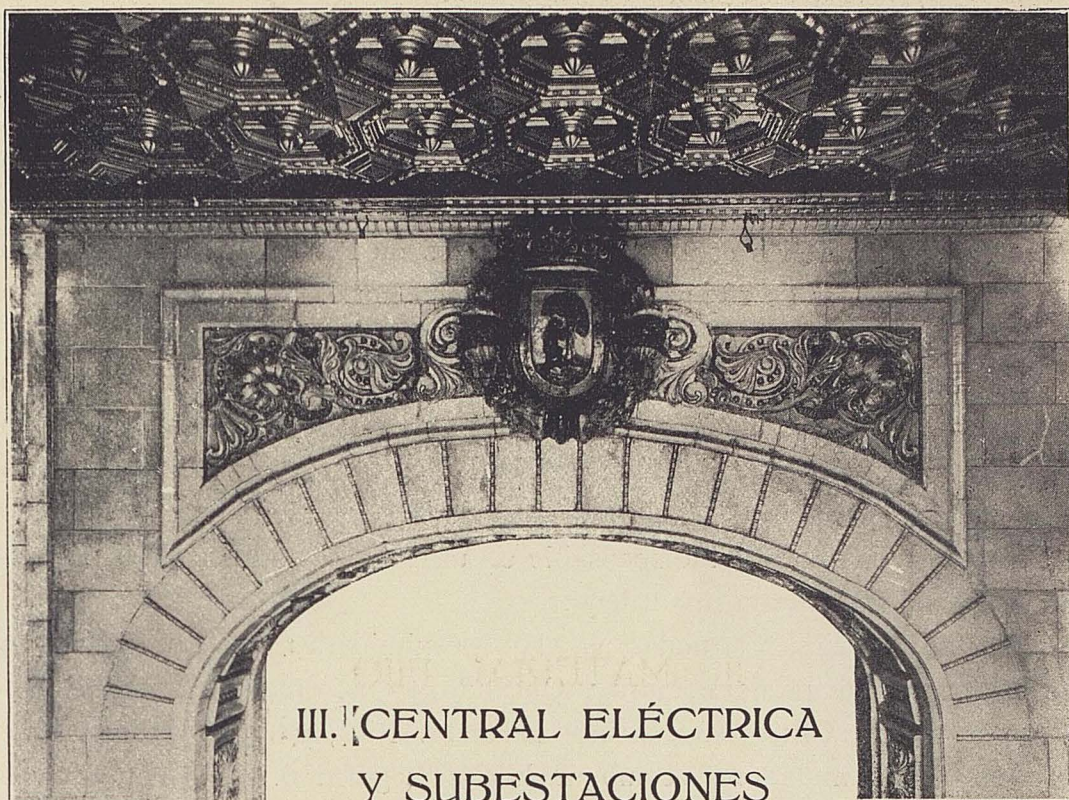


II. MATERIAL FIJO

LA vía es de carril Vignole, de cuarenta kilogramos por metro lineal, fabricado en Bilbao, colocado sobre traviesas de roble y placas de asiento; en las líneas últimamente construídas la longitud de cada carril es de dieciocho metros, y se ha empleado la soldadura aluminotérmica con juntas de dilatación cada 300 metros.

El sistema de señales, que primitivamente fué del tipo de pedal, ha sido sustituido en toda la red por el de circuito de vía de corriente alterna, de funcionamiento más seguro.

La Compañía tiene dos Talleres y Cocheras, en los Cuatro Caminos y en las Ventas, y dispone de terrenos para que puedan ser ampliados a medida que la red vaya aumentando.



III. CENTRAL ELÉCTRICA Y SUBESTACIONES

LA energía es suministrada en corriente trifásica a 15.000 voltios por las tres grandes Sociedades de electricidad madrileñas, y la Compañía del Metropolitano ha instalado en el Pacífico, además, como reserva, una Central térmica (Figs. 20 y 21) con tres grupos de motores Diesel, a dos tiempos, de 1.500 HP cada uno, directamente acoplados a alternadores de 1.000 Kw. de corriente trifásica a 15.000 voltios.

La figura 20 es la vista general de dicha Central; en ella destaca la gran nave de 43 metros por 18,70 de anchura que alberga no sólo los tres grupos Diesel, sino también las conmutatrices que forman parte de la subestación de Pacífico, que luego se mencionará. A la izquierda de esta nave se ve la torre de refrigeración y a la derecha el edificio de la batería de acumuladores, aneja a la subestación, y la vivienda del Jefe del servicio

eléctrico de la Compañía. En la inmediata proximidad de la Central se han construído cinco depósitos de combustible, subterráneos y visitables, de 100 metros cúbicos de capacidad cada uno; el combustible líquido empleado es el Diesel oil de unas 10.000 calorías, o aceites procedentes de la destilación de los esquistos bituminosos de Peñarroya, y el consumo medio de aquél es de 189 gramos por caballo hora efectivo, trabajando a plena carga.

Debido al buen servicio que de un modo regular y constante prestan las tres grandes Sociedades productoras antes citadas, que son la Unión Eléctrica, la Hidráulica Santillana y la Hidroeléctrica Española, nuestra Central térmica apenas trabaja durante el año, y sirve únicamente como un elemento de reserva, indispensable en un servicio público de la importancia del Metropolitano madrileño.

Tres subestaciones situadas en las proximidades de las estaciones de Pacífico, Príncipe de Vergara y Quevedo, transforman la corriente trifásica a 15.000 voltios en continua, a 600 voltios, y están provistas de baterías de acumuladores, como medida de seguridad. En las primitivas subestaciones se emplearon conmutatrices, y en la reciente de Quevedo (Figs. 22 y 23) hay instalados dos rectificadores de mercurio de 800 Kw. y uno de 2.100 Kw.

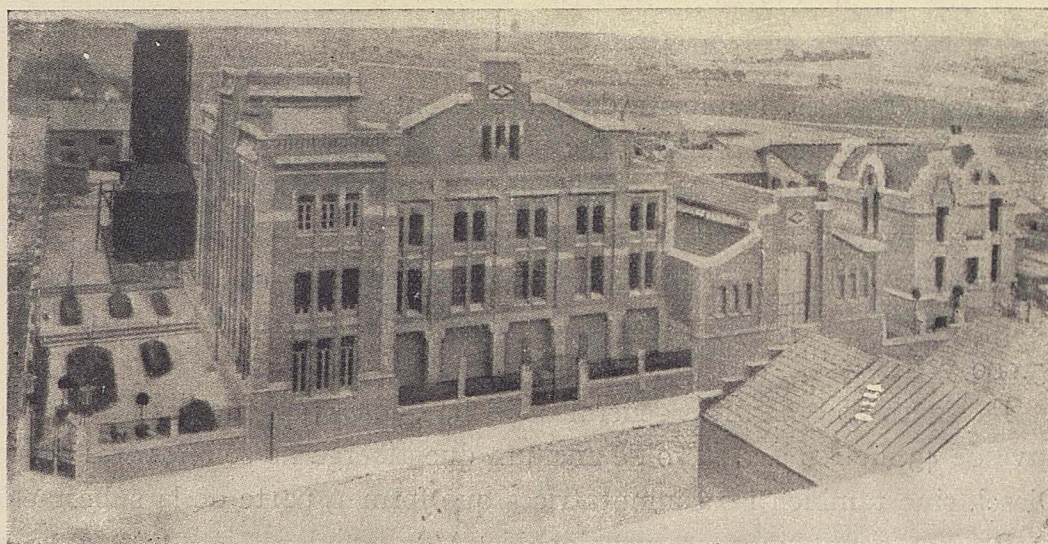


Fig. 20: Central térmica del Pacífico.

20: Pacifico generating station.

Fig. 20: Centrale thermique du Pacifico

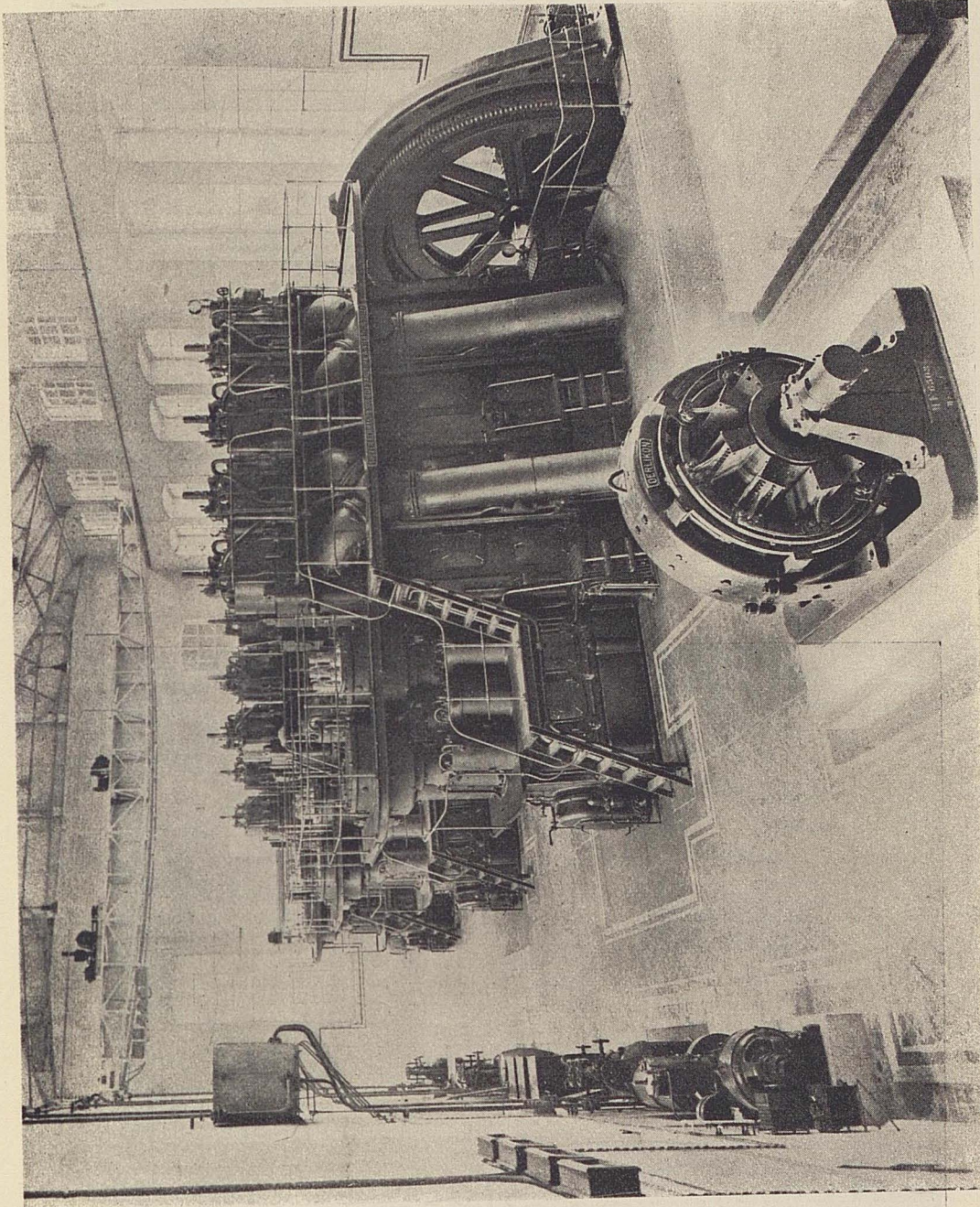


Fig. 2r: Interior de la Central térmica del Pacífico.

2r: Inside view of the Pacific generating station.

Fig. 2r: Intérieur de la Centrale thermique du Pacifique

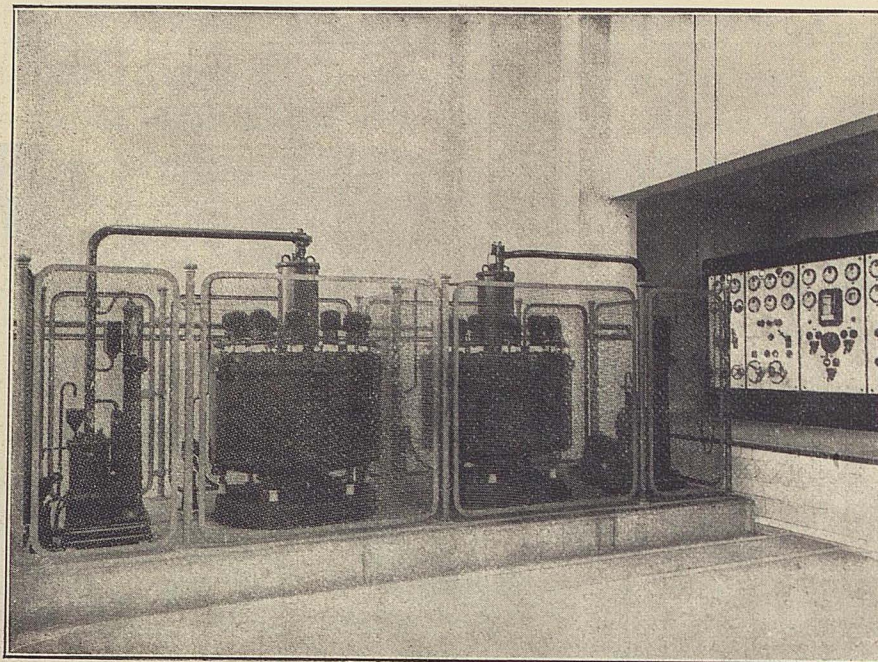


Fig. 22: Subestación de Quevedo. Rectificadores de mercurio.

Fig. 22: Sous-station de Quevedo. Rectificateurs de mercure.

23: Quevedo sub-station. Mercury vapour rectifiers.

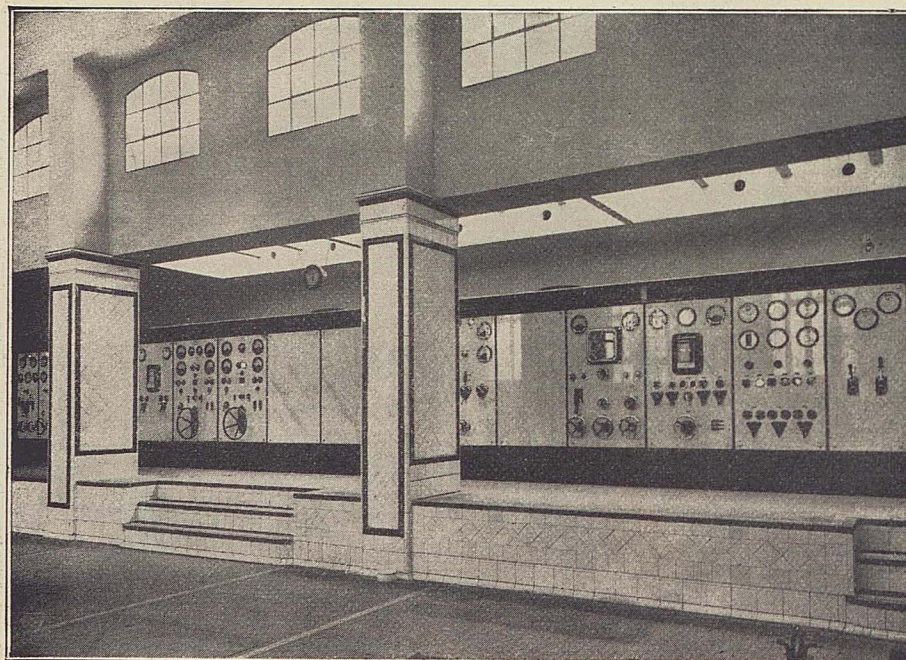
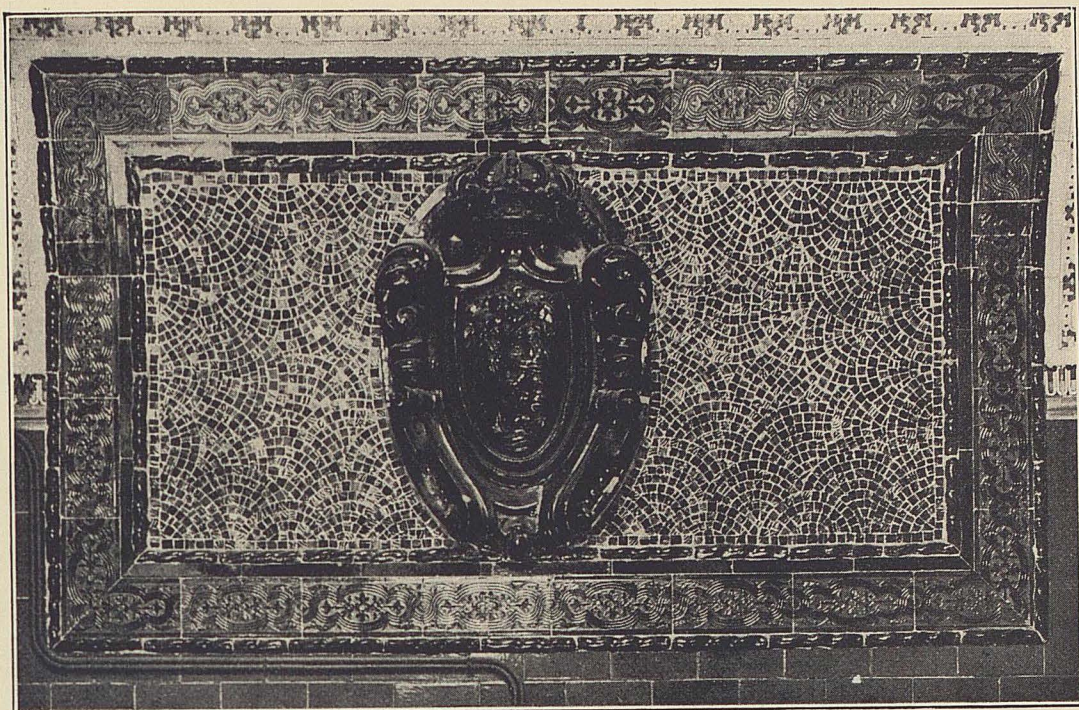


Fig. 23: Subestación de Quevedo. Cuadro de distribución.

Fig. 23: Sous-station de Quevedo. Tableau de distribution.

23: Quevedo sub-station. Distribution board.



IV. MATERIAL MOVIL

LA Compañía tiene 130 coches (Figs. 24 y 25), repartidos en 66 automotores, y 64 remolques; todos ellos son de 2,40 metros de anchura, y la longitud, que en los primitivos vehículos era de 11,75 metros se ha aumentado en los modernos a 12,50 metros. Los automotores llevan cuatro motores de 110 caballos cada uno, y sus equipos de maniobra son del sistema de unidades múltiples.

Para aumentar la rigidez de las cajas metálicas, aligerándolas al mismo tiempo, se ha calculado su estructura, asimilando las paredes de las cajas a vigas del tipo Vierendeel. Las puertas de los coches tienen 1,40 metros de ancho y hay tres en cada vehículo. Un sistema automático mantiene cerradas las puertas del lado opuesto al andén, y permite manejar simultáneamente la apertura y el cierre de todas las situadas del lado por el que se efectúa el servicio. Estos coches han sido construídos en los Talleres de la industria nacional de Zaragoza y Bilbao.

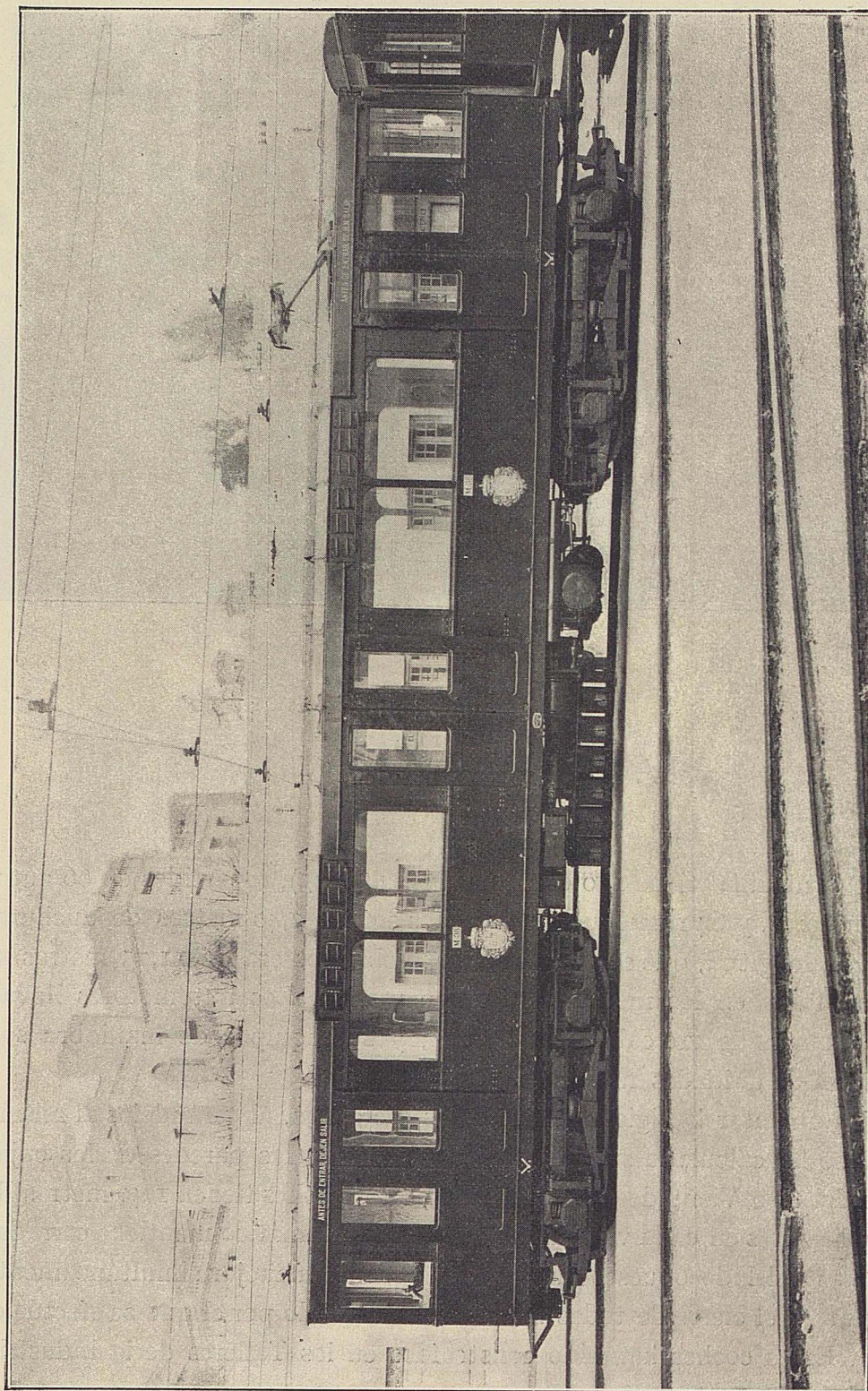


Fig. 24: Material móvil. Vista exterior.

Fig. 24: Matériel mobile. Vue extérieure.

24: Rolling stock. Outside view.

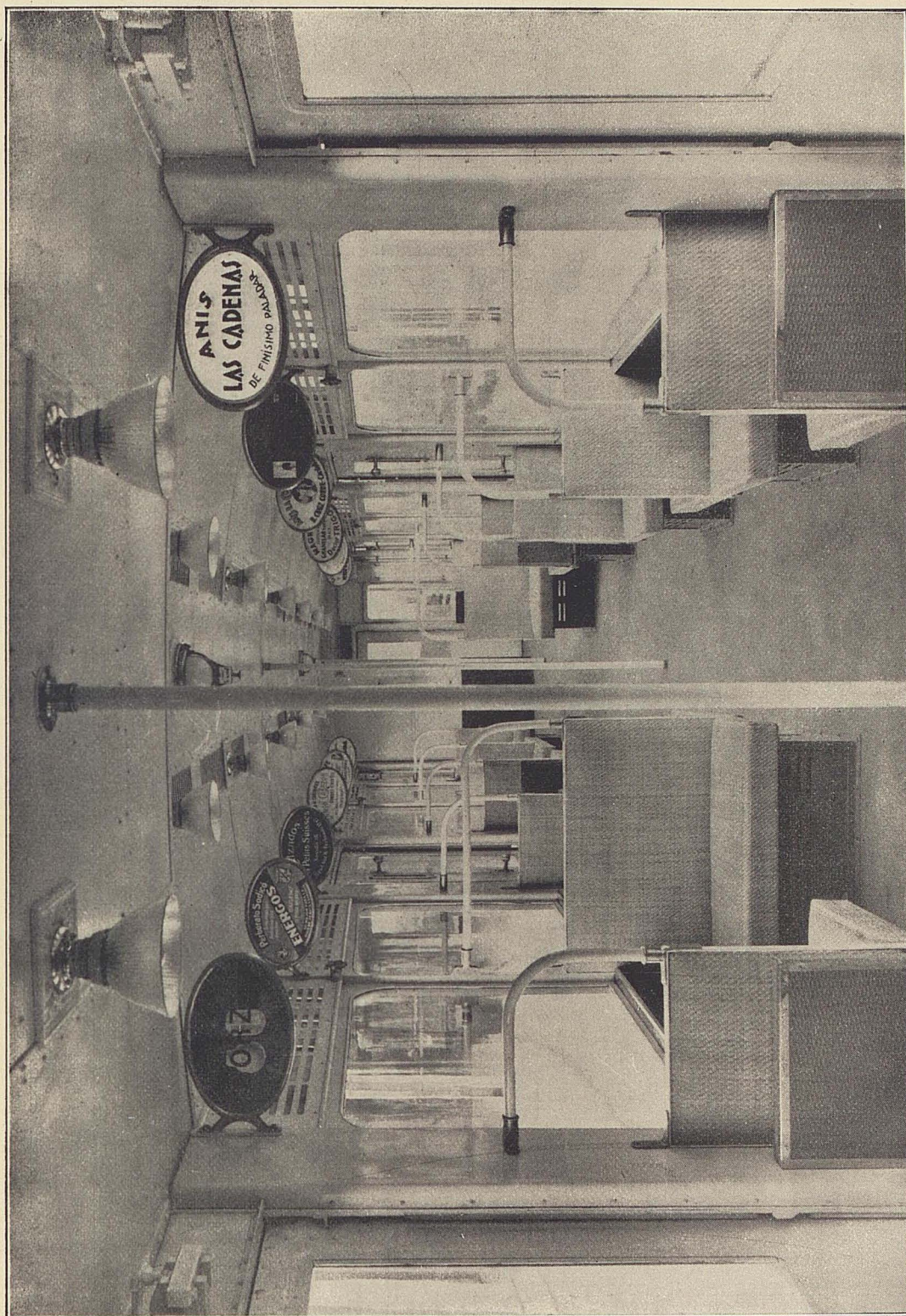


Fig. 25: Matériel mobile. Vue intérieure.

Fig. 25: Material móvil. Vista interior.

25: Rolling stock. Inside view.

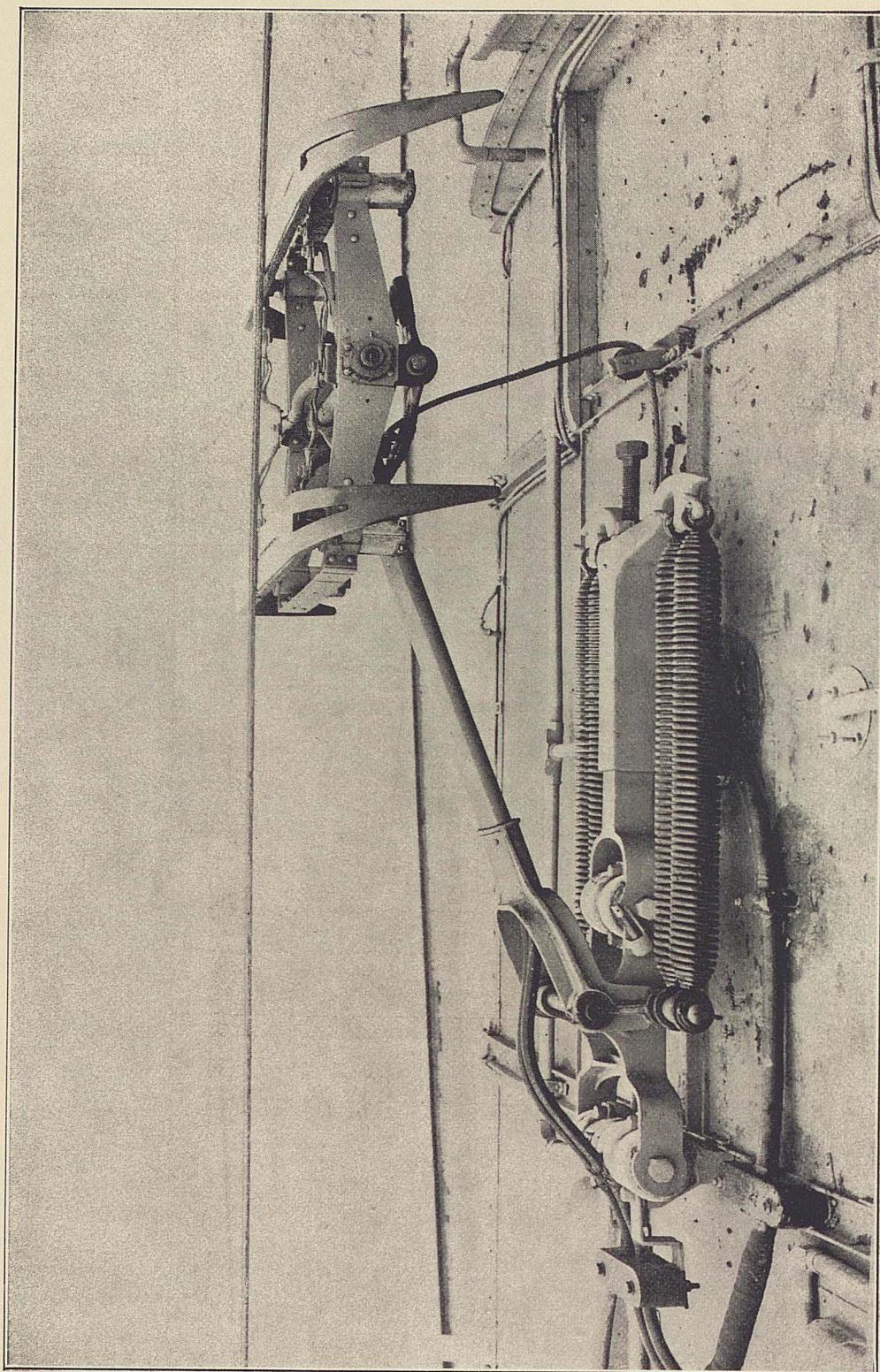


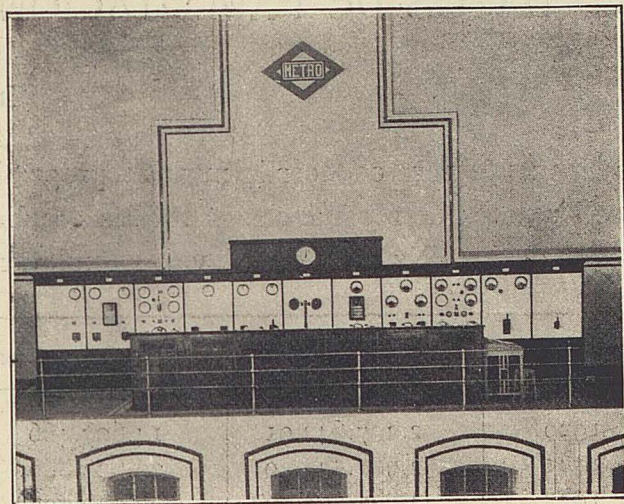
Fig. 26: Toma de corriente aérea.

Fig. 26: Prise de courant aérienne.

26: Overhead current distribution.

Para simplificar la composición de los trenes, los acoplamientos son automáticos: cuando dos coches se acoplan, las conexiones eléctricas y neumáticas se efectúan al mismo tiempo que se realiza el enganche mecánico.

La toma de corriente es aérea; al principio se utilizaron pantógrafos, pero su peso excesivo, los rozamientos de sus articulaciones y la suspensión rígida del frotador, eran inconvenientes que se han evitado con la construcción de un nuevo tipo de toma de corriente, estudiado y construido en los talleres de la Compañía, del tipo de trole (Fig. 26) que sólo tiene cuatro articulaciones y pesa cuarenta kilogramos, en lugar de las doce articulaciones y los ciento cuarenta kilogramos del pantógrafo. La nueva disposición ha reducido la fatiga de la línea aérea a la quinta parte de la debida a los pantógrafos, y han desaparecido las averías que con éstos se producían, al mismo tiempo que se consigue una excelente captación de corriente.





V. DATOS DE EXPLOTACION

Ingresos brutos.

NADA más elocuente para conocer la marcha progresiva de la Compañía, que los datos de recaudaciones totales anuales y número de viajeros en cada uno de los diez años que lleva de explotación (Fig. 27).

Años.	Recaudación anual.	Número de viajeros.
1920	2.207.642,91	14.627.466
1921	2.981.531,39	20.633.886
1922	4.805.591,49	30.130.202
1923	5.879.412,00	34.923.264
1924	7.531.991,37	42.328.657
1925	8.100.015,04	48.443.359
1926	10.007.304,02	67.664.276
1927	10.875.400,18	64.527.526
1928	12.057.217,32	70.748.539
1929	13.772.433,30	80.118.271

Pesetas

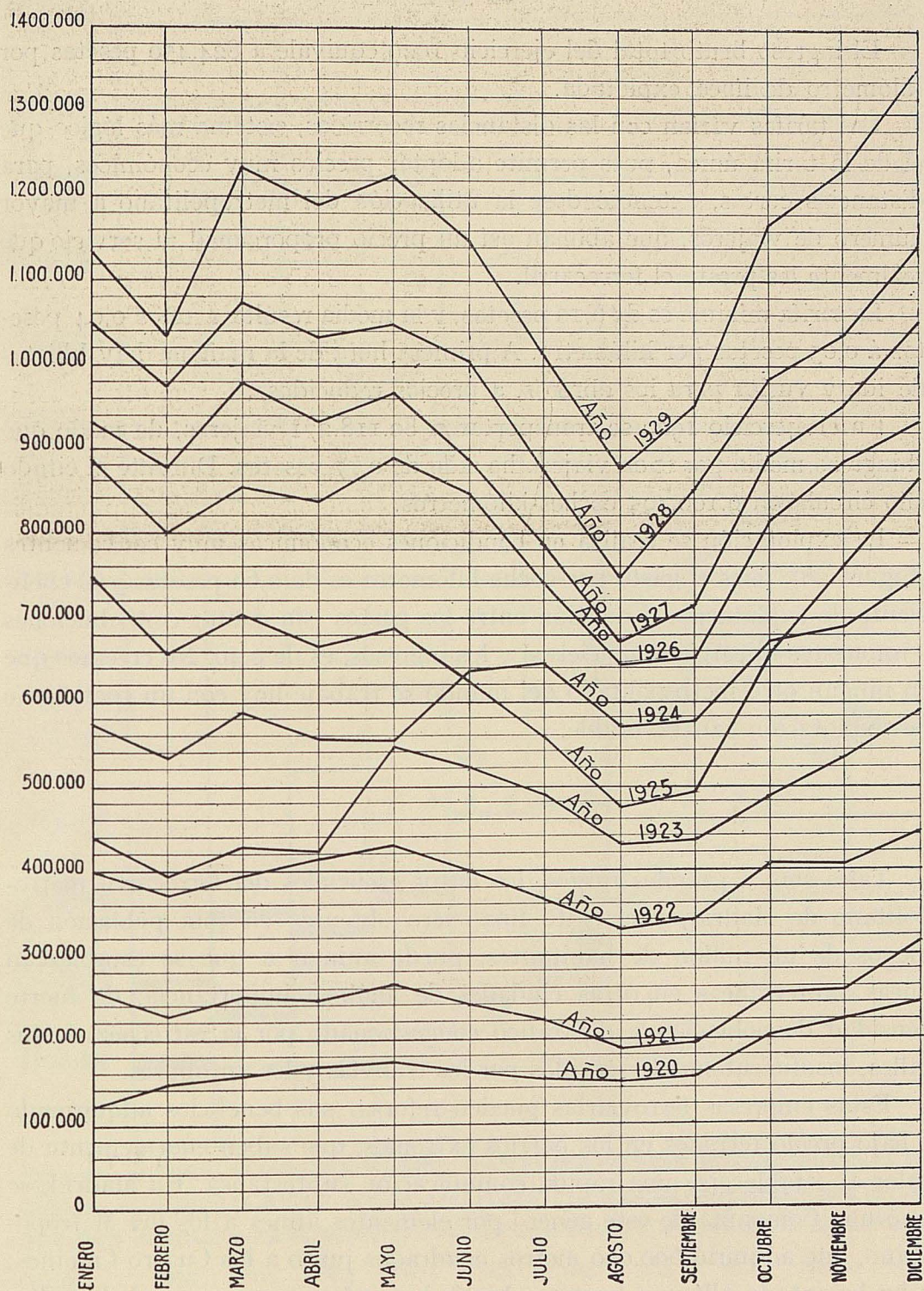


Fig. 27: Gráfico de ingresos mensuales de explotación durante los años 1920 a 1929, inclusive.

Fig. 27: Graphique des recettes mensuelles d'exploitation pendant les années 1920 à 1929 inclusive.

27: Graph of monthly operation earnings during the years 1920 to 1929.

El ingreso bruto total del ejercicio 1929 equivale a 824.450 pesetas por kilómetro de línea explotada.

Las tarifas varían con las distancias recorridas, sistema más lógico que el de la tarifa única, pues permite adoptar precios muy económicos, para distancias cortas, extendiéndose la utilización del metropolitano a mayor número de viajeros, que abonan así un precio proporcional al servicio que realmente les presta el ferrocarril.

La tarifa mínima es de 0,10 pesetas, y la media resulta a unos 0,04 pesetas á 0,05 pesetas por kilómetro. A primera hora de la mañana hay billetes de ida y vuelta para los obreros, a precios reducidos.

En el ejercicio 1929 se transportaron 80.118.271 viajeros, de modo que el ingreso medio por cada viajero ha sido de 0,17 pesetas. Durante el citado año circularon 9.100.195 coches-kilómetros.

La explotación se realiza en condiciones económicas muy convenientes (Figura 28), pues el gasto por coche kilómetro es de 0,60 pesetas y el coeficiente de explotación o relación entre los gastos (sin contar contribuciones e impuestos ni cargas financieras) y los ingresos, es de 0,40. No creemos que en ningún otro metropolitano del mundo se trabaje hoy con un coeficiente de explotación tan favorable.

* * *

Tales son, a grandes rasgos, los datos esenciales del ferrocarril metropolitano de Madrid, y el éxito financiero obtenido en esta población de menos de un millón de habitantes, puede animar a que se establezcan líneas subterráneas en otras ciudades de análoga importancia, de fuerte densidad de población y de tráfico congestionado por la estrechez de sus calles, insuficientemente servidas por los tranvías y los autobuses.

Estas empresas ferroviarias pueden reforzar sus beneficios adquiriendo a bajo precio terrenos en los barrios extremos, que suben enormemente de valor al establecerse una rápida comunicación subterránea. En Madrid, se creó una Compañía de este género por elementos afines a los del Metropolitano, que adquirió 600.000 metros cuadrados junto a los Cuatro Caminos, y ha levantado allí una hermosa barriada moderna, y una ciudad jardín, en la que hay un Stadium para 30.000 espectadores.



Pesetas.

14.000.000

13.000.000

12.000.000

11.000.000

10.000.000

9.000.000

8.000.000

7.000.000

6.000.000

5.000.000

4.000.000

3.000.000

2.000.000

1.000.000

0

Ingresos
Gastos
Beneficios

2.035.152,40	2.904.060,55	4.686.141,35	5.720.499,15	7.347.797,90	7.888.063,25	9.791.056,35	10.659.250,65	11.830.128,10	13.561.142,30	Pts.
953.028,09	1.256.226,59	2.101.310,36	2.621.828,88	3.273.055,88	3.679.360,84	4.463.682,33	4.600.327,09	4.717.503,40	5.437.736,65	Pts.
1.082.124,31	1.647.833,96	2.584.830,99	3.098.670,27	4.074.742,02	4.208.702,41	5.327.374,02	6.058.923,56	7.112.624,70	8.123.405,65	Pts.
1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	

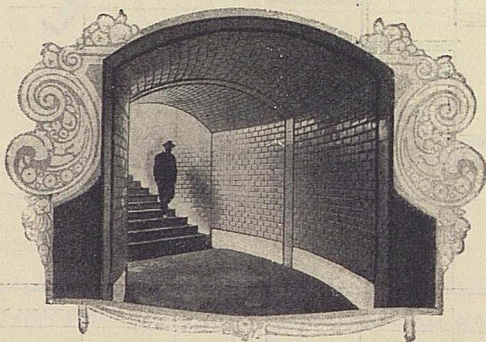
Fig. 28: Gráfico de ingresos, por viajeros, gastos y beneficios anuales de explotación durante los años 1920 a 1929, inclusive.

Fig. 28: Graphique des recettes par voyageurs, dépenses et bénéfices annuels d'exploitation pendant les années 1920 à 1929 inclusive.

28: Graph of passengers's income, expenses and profits for each year's operation from 1920 to 1929.

También los Municipios pueden ayudar a la construcción de estos ferrocarriles, otorgándose a los Ayuntamientos, como lo ha hecho una reciente ley española, el derecho a cobrar un impuesto sobre la plus-valía, que llega a ser, en nuestra legislación vigente, hasta el 25 por 100 del beneficio obtenido por los propietarios en la venta de los terrenos.

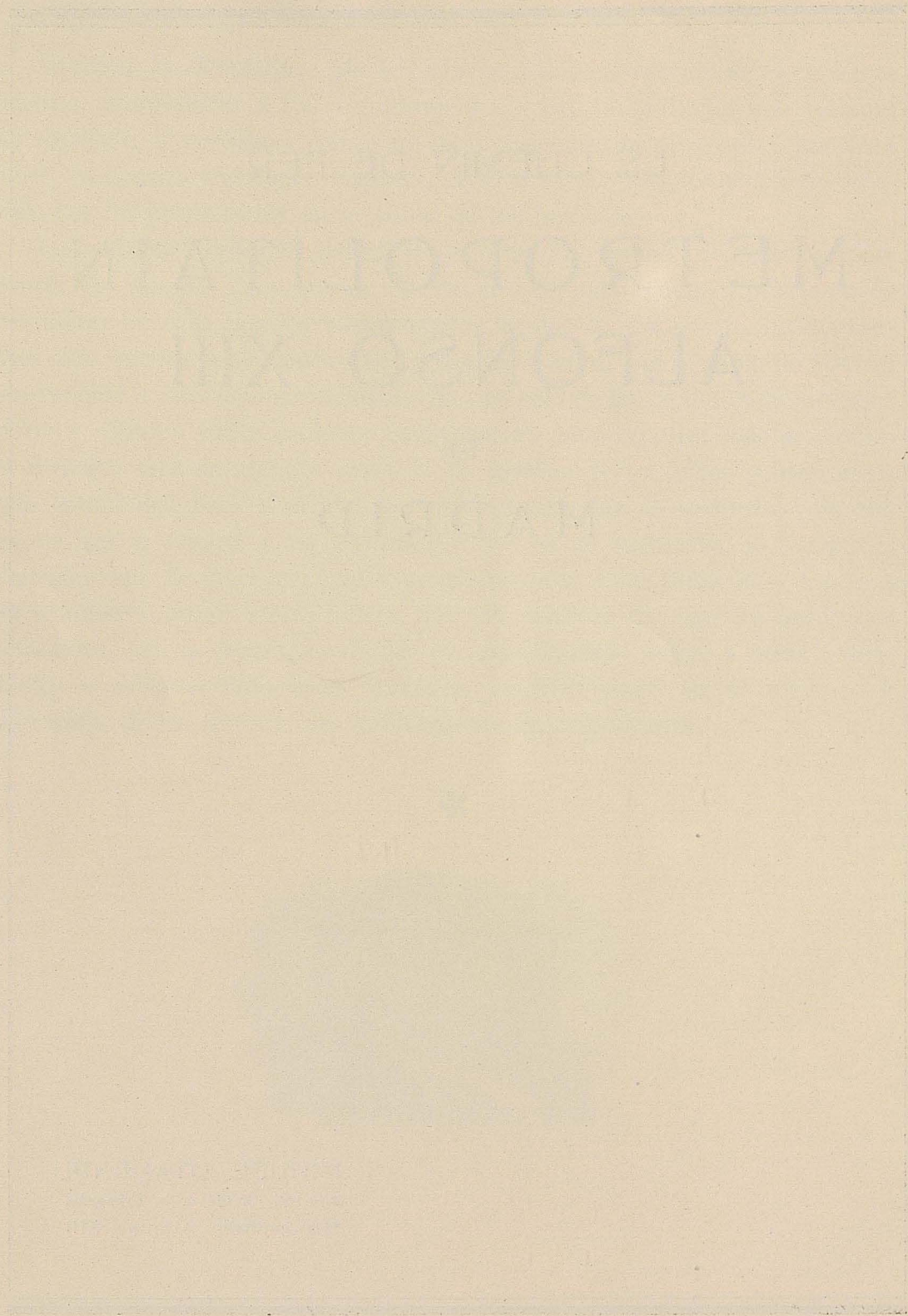
La congestión creciente del tráfico en todas las ciudades de alguna importancia del mundo, hace que de día en día sea más agudo el problema de establecer en ellas rápidos y económicos medios de transporte, indispensables para que las poblaciones crezcan y se extiendan, y el ejemplo de Madrid convencerá a muchos incrédulos de que, no sólo en las ciudades cuyo vecindario se cifre en varios millones de habitantes, sino en otras más modestas, la solución será en algunos casos la de instalar ferrocarriles subterráneos que, estudiados desde el primer momento con un plan de conjunto, y en una escala que se adapte a las necesidades que ha de satisfacer, se puedan ir construyendo de modo gradual y progresivo, con éxito financiero. Ello nos ha decidido a publicar este folleto, que sólo aspira a divulgar los resultados obtenidos, con la esperanza de que su conocimiento anime a otras poblaciones a estudiar soluciones análogas, contribuyendo así al fomento y desarrollo de los ferrocarriles subterráneos metropolitanos.



LE CHEMIN DE FER
METROPOLITAIN
ALFONSO XIII
DE
MADRID



MIGUEL OTAMENDI
Directeur Gérant de la Compagnie
Metropolitano Alfonso XIII



A l'occasion de la célébration à Madrid du "Congrès International des Chemins de Fer", la Compagnie du Métropolitain Alfonso XIII a édité en trois langues, espagnol, français, anglais, cette brochure descriptive de ses travaux et des résultats de son exploitation. Elle se fait un honneur de l'offrir à M. M. les Congressistes, en souvenir du Madrid qu'ils visitent aujourd'hui et, en témoignage d'affection et de gratitude envers tous ceux qui, par leur aide et leur coopération précieuses, ont contribué au succès de cet important Congrès.



Le Chemin de fer Métropolitain Alfonso XIII, de Madrid

I. CONSTRUCTION DU RÉSEAU MÉTROPOLITAIN MADRILÈNE

Antécédents.

C'EST en Mai 1914 que fut sollicitée du Ministère de Fomento (Travaux Publics), la concession d'un chemin de fer souterrain à Madrid, composé de plusieurs lignes qui, formant un réseau de 14 kilomètres, devait traverser la ville dans les deux sens et desservir les zones les plus importantes.

Dès le premier moment, le tracé fut étudié sous une vue d'ensemble des besoins présents et futurs de la Capitale et de ses probables développements, de manière que ce premier réseau pût être prolongé afin de répondre aux nouvelles demandes de trafic que l'agrandissement de Madrid exigerait plus tard.

Le recensement officiel de la population qui, au commencement de ce siècle indiquait 550.000 habitants, est aujourd'hui de 809.000, et si l'on ajoute ceux non compris dans le relevé officiel, et ceux des faubourgs populaires de Tetuan et du Puente de Vallecas, situés hors de la commune de Madrid, et où arrive déjà le chemin de fer Métropolitain, on peut estimer le total de la population de la zone affectée par le tracé de ce moderne moyen de transport, à un million d'habitants environ.

Après la procédure exigée par la Loi, le Ministère de Fomento, par Ordonnance Royale du 12 Janvier 1917, accorda la concession du Métropolitain madrilène, pour une durée de 99 ans, comme chemin de fer secondaire, sans aucune garantie de l'Etat.

Constitution de la Compagnie du Métropolitain Alfonso XIII.

Peu de jours après, le 24 Janvier 1917, la Compagnie du Métropolitain Alfonso XIII fut constituée, au capital de 10.000.000 de pesetas. Le nouveau chemin de fer éveilla tant de confiance et d'enthousiasme, que toutes les actions furent acquises par des espagnols. Les plus hautes firmes de Bilbao, Barcelona et de Madrid participèrent à la souscription à laquelle prirent part les plus hautes personnalités de la Nation, et les plus modestes représentants de la petite épargne.

On décida de construire d'abord la ligne N^o 1, Nord-Sud, qui va du quartier des Cuatro Caminos jusqu'à la Puerta del Sol (Fig. 1) avec huit stations, et d'une longueur totale de 3.598 mètres; tronçon qui relie el populeux quartier ouvrier de Cuatro Caminos au centre de la ville qui est la Puerta del Sol. Lorsque les travaux commencèrent en Juillet 1917, l'inscription suivante fut placée sur la clôture en planches entourant le premier puits d'attaque, à la Puerta del Sol: "L'INAUGURATION DE LA LIGNE N.º 1 NORD-SUD, AURA LIEU EN OCTOBRE 1919".

Malgré les très grosses difficultés rencontrées à cette époque de la post-guerre pour acquérir les matériaux nécessaires, la Compagnie du Métropolitain Alfonso XIII, tint sa promesse et, très exactement, avec une ponctualité chronométrique, en Octobre 1919, le premier chemin de fer souterrain de notre patrie était ouvert au service public, avec un succès financier si immédiat, qu'il fut alors décidé d'augmenter le capital pour construire de nouvelles lignes. Les résultats favorables de celles-ci ont permis de décider des augmentations successives, qui font qu'actuellement le capital de la Compagnie est de 46.000.000 de pesetas en actions et de 58.000.000 de pesetas en obligations, capital entièrement versé par l'épargne nationale, et aussi de construire un réseau dont la longueur d'exploitation est de 18 kilomètres.



Les dates d'inauguration de chacun des tronçons et leur longueur respective utile d'exploitation sont les suivantes:

L I G N E S	Date d'inauguration	Longueur en Kms.
Nord-S.=C. Caminos-Sol	17 Octobre 1919	3,598
Nord-S.=Sol-Atocha.	26 Décembre 1921	1,808
Nord-S.=Atocha-Vallecas.	8 Mai. 1923	2,297
Est-O.=Ventas-Sol.	16 Juin 1924	3,816
Est-O.=Sol-Quevedo.	21 Octobre 1925	2,238
Embranchement Isabel II-Gare du Nord.	26 Décembre 1925	1,059
Nord-S.=C. Caminos-Tetuan.	6 Mars. 1929	1,741
Nord-S.=Quevedo-C. Caminos.	10 Septembre. 1929	1,463
		18,020

Tout le personnel chargé de la construction et de l'exploitation est espagnol, de même que les matériaux employés ont été de préférence des matériaux d'origine nationale. Seuls proviennent de l'étranger les éléments spéciaux qui, comme les moteurs de traction, les régulateurs de commande, les signaux électriques, les rectificateurs de mercure, etc., ne se fabriquent pas en Espagne, ce qui représente à peine 5 % du capital versé dans l'entreprise.

Description générale du tracé.

Actuellement ce réseau de 18.020 mètres de long comprend les lignes suivantes (Fig. 1):

Ligne n.º 1, Nord-Sud, dont la longueur de parcours Tetuan-Cuatro Caminos-Puerta del Sol-Atocha-Vallecas est de 9.444 mètres.

Ligne n.º 2, Est-Ouest, dont le parcours Ventas-Puerta del Sol-Isabel II-Quevedo-Cuatro Caminos a 7.517 mètres. Cette ligne passe au-dessus de la précédente à la Puerta del Sol et se termine aux Cuatro Caminos à une station adossée à celle du même nom de la Ligne N.º 1 et à son

même niveau. Cette station possède une voie de manoeuvre qui conduit aux ateliers de Cuatro Caminos et sert d'embranchement pour les Lignes N° 1 et N° 2.

Ligne Isabel II. Gare du Nord, de 1.059 mètres de long. La station Isabel II est adossée à celle de même nom de la ligne N° 2 et à son même niveau. Cette ligne fonctionne comme embranchement indépendant.

Les travaux de construction du réseau ont été menés à bonne fin, sans que la circulation des voitures ait été arrêtée un seul moment sur tout le trajet affecté par les travaux. (Figs. 2 et 3.)

Tunnel courant.

Tout le réseau se développe dans un tunnel à double voie, de 1^m445 chacune de large; la section normale de la galerie (Figs. 4 et 5) a les dimensions suffisantes pour permettre la circulation de voitures de 2^m400 de large. La prise de courant électrique a lieu par fil aérien.

Dans les endroits où la circulation des rues est peu active et le tracé du chemin de fer peu profond, la construction du tunnel a été faite par tranchée ouverte. Les bonnes conditions du terrain ont permis l'emploi d'un système de construction rapide et économique réduisant au minimum les risques pendant son exécution; il consiste essentiellement à ouvrir dans la rue deux étroites tranchées de 0,95 de largeur, parallèles et distantes de 6 mètres qui, remplies ensuite de béton, constituent les piédroits; on procède alors au dépavage de la rue, on ouvre une tranchée entre les deux piédroits, tranchée dont le fond dessine exactement la partie inférieure de la voûte à construire, et sur ce cintre de terre, préalablement égalisé et revêtu de plâtre, on verse le béton; la voûte se construit ainsi par tronçons de 4 à 6 mètres de longueur; cela fait, on comble la tranchée de terre, puis le temps nécessaire passé pour que le béton soit bien pris, on procède au déblaiement de la galerie et à l'exécution de son radier.

Ce système fut également appliqué pour la construction des vestibules de quelques stations (Fig. 6).

Dans les endroits où l'étroitesse des rues, leur trafic intense, ou la plus grande profondeur du tracé empêchait d'employer ce système d'exécution, le tunnel fut construit suivant le système courant belge, en commençant par la voûte, qui est en maçonnerie de granit ou de brique et en continuant par les piédroits faits de mêmes matériaux; le déblaiement eut lieu ensuite et, enfin, le travail du radier en béton.

A cause de l'étroitesse de quelques rues du centre ancien de Madrid et leur tracé tortueux, il fut parfois nécessaire de pousser le tunnel au dessous des maisons. Il est juste de faire remarquer à ce sujet que tous les propriétaires des maisons affectées par les travaux, ont donné gratuitement les autorisations nécessaires à leur exécution, montrant ainsi leur désir de contribuer à la réalisation de ce travail si utile aux intérêts généraux des habitants.

Dans d'autres endroits spéciaux, comme à la place de la Cibèles, la section du tunnel, est à plafond plat avec appuis intermédiaires (Fig. 7), mais comme son prix de revient est supérieur à celui de la section normale en voûte de maçonnerie, cette disposition n'a été employée que lorsque les canalisations du sous-sol ne laissaient qu'une faible hauteur disponible entre elles et le pavage et qu'il fallait réduire le plus possible la hauteur du tunnel.

Dans le tracé du réseau, la courbe du rayon minimum est de 85 mètres. Les rampes maxima sont de 5 %. C'est grâce à cela, qu'on a obtenu la faible profondeur des stations auxquelles on accède commodément par de courts escaliers, avantage très apprécié des voyageurs. Par exception, la station inférieure de la ligne N° 1 de la Puerta del Sol et celle de la Gran Via, se trouvent à une assez grande profondeur; on y a remédié par des ascenseurs qui, dans ces deux stations, montent les voyageurs jusqu'au niveau de la rue (Fig. 8).

Les stations et leurs accès.

La section de la voûte des stations (Fig. 9) est sensiblement celle d'un arc éллиptique, de 14 mètres de largeur extérieure. Elle couvre la double voie centrale et les deux quais latéraux. Toutes les stations ont 60 mètres de long, et la largeur des quais est de 4 mètres dans les stations d'importance, et de 3 mètres dans les autres. Elles sont toutes d'accès multiples



et faciles et possèdent de longues galeries de communication afin d'étendre leur rayon d'action et de faciliter l'entrée des voyageurs. La distance moyenne entre stations est d'environ 600 mètres.

Quelques-unes ont des dispositions spéciales, comme celle du Retiro (Fig. 10), qui compte trois voies, en prévision de l'embranchement d'une nouvelle ligne; celle de Isabel II qui dessert la gare du Nord, et qui fonctionne comme embranchement indépendant n'a qu'un quai; enfin la station terminus de Cuatro Caminos, de la ligne N° 2 (Fig. 11) à double voie, avec quai central et latéral pour faciliter le transbordement et recevoir l'énorme masse de public qui y afflue les jours de partie de foot-ball au Stadium.

On a eu soin de ne pas tomber dans le défaut de la plupart des métropolitains étrangers où, une fois adopté un type de station et de vestibule d'entrée, pauvrement décoré, on le répète incessamment. Dans le Métropolitain madrilène, il fallait attirer le public habitué à la belle lumière extérieure des rues et des promenades, et pour cela il était nécessaire que les vestibules et les stations fussent clairs et gais (Figs. 12 et 13). La riche variété des céramiques des diverses régions espagnoles se prête parfaitement bien à cela. Les voûtes des stations sont donc recouvertes de carreaux bisautés en faïence blanche que de larges grecques de céramique sévillane, à reflets de cuivre et d'or rehaussent de leur éclat. Les hauts bouts sont décorés d'écussons aux armes des différentes provinces (Fig. 14). On a eu soin également de veiller à ce que la décoration de chaque vestibule soit en harmonie avec le quartier où il est enclavé; pour cette raison, le vestibule de la Puerta del Sol (Figs. 15 à 19), centre et coeur de la Capitale, est le plus somptueux, avec ses murs recouverts de marbre aux tonalités douces, couronnés d'une large frise de céramique de Tolède, on haut relief, où se détachent les armes des régions espagnoles, parmi lesquelles sur la clef de ses portes principales, les emblèmes de la province et de la ville de Madrid.

II. LE MATÉRIEL FIXE

LA voie est pourvue de rails du type Vignole, de 40 kgs. par mètre courant, fabriqués à Bilbao, placés sur traverses de chêne et plaques d'assise. Dans les lignes dernièrement construites la longueur de chaque rail est de 18 mètres. La soudure aluminio-thermique a été employée et les joints de dilatation sont à 300 mètres les uns des autres.

Le système de signaux, qui au début furent du type pédale, a été remplacé sur la totalité de la ligne, par celui de circuit de voie de courant alternatif, d'un fonctionnement plus sûr.

La Compagnie possède deux ateliers et remises dans les quartiers des Cuatro Caminos et de las Ventas. Elle dispose de terrains suffisants pour leur agrandissement au fur et à mesure que le réseau deviendra plus important.

III. CENTRALE ÉLECTRIQUE ET SOUS-STATIONS

L'ÉNERGIE est fournie en courant triphasé à 15.000 volts, par les trois grandes sociétés électriques de Madrid. De plus la Compagnie du Métropolitain a installé comme réserve, dans le quartier Pacífico, une Centrale thermique (Figs. 20 et 21) avec trois groupes de moteurs Diesel à deux temps, de 1.500 HP. chacun, directement accouplés à des alternateurs de 1.000 kw de courant triphasé à 15.000 volts.

La figure 20 représente une vue générale de la dite Centrale; on y remarque la grande nef de 43 mètres de longueur sur 18,70 de largeur où sont placés non seulement les trois groupes Diesel, mais aussi les commutateurs qui font partie de la sous-station du Pacífico, dont on parlera plus loin. A gauche de cette nef se trouve la tour de refroidissement et à droite de l'édifice il-y-a la batterie d'accumulateurs, annexée à la souté-tion et aussi la maison du Chef du Service Electrique de la Cie. Dans les alentours de la Centrale on a construit cinq dépôts de combustible souterrains, que l'on peut visiter, et qui ont chacun une capacité de 100 mètres cubes. Comme combustible liquide on emploi l'huile Diesel de 10.000 calories ou bien encore de l'huile provenant de la distillation des schistes bitumineuses de Peñarroya; la consommation moyenne d'huile est de 189 grammes par HP., à pleine charge.

Grâce au bon service qui est rendu d'une manière régulière et constante par les trois grandes Sociétés d'électricité précitées, qui sont l'Unión Eléctrica, l'Hidráulica Santillana et l'Hidroeléctrica Española, notre Centrale

thermique ne travaille presque jamais et elle n'est en réalité, que l'élément de réserve indispensable à tout service public de l'importance du Métropolitain de Madrid.

Trois sous-stations, situées dans le voisinage des stations de Pacífico, Príncipe de Vergara et Quevedo, transforment le courant triphasé a 15.000 volts en continu, à 600 volts. Elles sont pourvues de batteries d'accumulateurs, comme mesure de sécurité. Dans les premières sous-stations, des commutatrices furent employées, et dans celle plus récente de Quevedo (Figs. 22 et 23) deux rectificateurs de mercure de 800 kw. et un de 2.100 kw sont installés.

IV. MATÉRIEL ROULANT

LA Compagnie possède 130 voitures (Figs. 24 et 25), dont 66 automotrices et 64 remorques. Leur dimension est de 2^m40 de large, et la longueur qui, dans les premiers véhicules était de 11^m75, a été augmentée pour les plus modernes jusqu'à 12^m50. Les automotrices sont à 4 moteurs de 110 chevaux chacune et leur équipement de manoeuvre sont du système d'unités multiples.

Pour augmenter la rigidité des caisses métalliques, tout en les allégeant, on a calculé leur structure, en assimilant les parois des caisses à des poutres du type Vierendeel. Les portes des voitures, au nombre de trois par véhicule, ont 1^m40 de large. Celles du côté opposé au quai sont maintenues fermées par un système automatique qui permet de manoeuvrer simultanément l'ouverture et la fermeture de toutes celles situées du côté par où s'effectue le service. Ces voitures ont été construites par les ateliers de l'industrie nationale de Zaragoza et de Bilbao.

Pour simplifier la composition des trains, les attelages sont automatiques. Lorsque l'on accroche deux voitures, les connexions électriques et pneumatiques s'effectuent en même temps que se fait l'attelage.

La prise de courant est aérienne. Au début, des pantographes furent utilisés, mais leur poids excessif, les frottements de leurs articulations et la suspension rigide du frotteur, étaient autant d'inconvénients qui ont été

évités depuis par la construction d'un nouveau type de prise de courant, étudié et construit dans les ateliers de la Compagnie, du type de trolley (Fig. 26), qui n'a que 4 articulations et pèse 40 kgs., au lieu des 12 articulations et des 140 kgs. du pantographe. La nouvelle disposition a réduit à un cinquième la fatigue de la ligne aérienne due aux pantographes, et supprimé les accidents qu'ils produisaient; elle permet en même temps une excellente captation du courant.

V. DE L'EXPLOITATION

Recettes brutes.

RIEN de plus éloquent pour connaître la marche progressive de la Compagnie, que les chiffres des recettes totales annuelles et le nombre des voyageurs pour chacune des 10 années depuis le commencement de l'exploitation (Fig. 27):

Années	Recette annuelle	Nombre de voyageurs
1920	2.207.642,91	14.627.466
1921	2.981.531,39	20.633.886
1922	4.805.591,49	30.130.202
1923	5.879.412	34.923.264
1924	7.531.991,37	42.328.657
1925	8.100.015,04	48.443.359
1926	10.007.304,02	67.664.276
1927	10.875.400,18	64.527.526
1928	12.057.217,32	70.748.539
1929	13.772.433,30	80.118.271

L'encaissement brut total de l'exercice 1929, équivalait à 824.450 pesetas par kilomètre de ligne exploitée.

Les tarifs varient selon les distances parcourues, système plus logique que celui du tarif unique, car il permet d'adopter des prix plus économiques pour des distances courtes et d'étendre l'utilisation du Métropolitain

à un plus grand nombre de voyageurs, qui paient ainsi un prix proportionnel au service que leur rend le chemin de fer.

Le tarif minimum est de 0,10 de peseta, et la moyenne des prix est de 0,04 ou 0,05 pesetas, par kilomètre. Le matin, à la première heure, il y a pour les ouvriers des billets d'aller et retour à prix réduit.

Au cours de l'exercice 1929 on a transporté 80.118.271 voyageurs, ce qui donne une recette moyenne par voyageur de 0,17 de peseta, et la circulation pendant cette même année fut de 9.100.195 voitures-kilomètres.

L'exploitation a lieu dans des conditions économiques satisfaisantes (Fig. 28), la dépense étant par voiture-kilomètre de 0,60 pesetas, et le coefficient d'exploitation ou relation entre les dépenses et les recettes (sans compter les contributions et les impôts ni les charges financières) est de 0,40. Nous ne croyons pas qu'il existe au monde un autre métropolitain où l'on travaille aujourd'hui avec un coefficient d'exploitation aussi favorable.

* * *

Telles sont à grands traits les caractéristiques essentielles du chemin de fer Métropolitain de Madrid. Le succès financier obtenu dans cette ville de moins d'un million d'habitants, peut encourager l'établissement de lignes souterraines dans d'autres villes d'importance analogue, de forte densité de population et de trafic congestionné par l'étroitesse des rues, insuffisamment desservies par tramways et autobus.

Ces entreprises ferroviaires peuvent renforcer leurs bénéfices en acquérant, dans les quartiers extrêmes, des terrains à bas prix, qui augmentent énormément de valeur lorsque s'établit une rapide communication souterraine. A Madrid une Compagnie de ce genre, créée par des éléments liés à ceux du métropolitain, acquit 600.000 mètres carrés touchant au quartier des Cuatro Caminos, terrains sur lesquels elle a élevé un magnifique quartier moderne et une cité-jardin dans laquelle il y a un Stadium pouvant recevoir 30.000 spectateurs.

Les Municipalités peuvent aussi aider à la construction de ces chemins de fer, si on leur concède, comme l'a fait une récente loi espagnole, le droit de toucher un impôt sur la plus value, impôt qui peut atteindre, par notre législation en vigueur, jusqu'à 25 % du bénéfice obtenu par les propriétaires sur la vente des terrains.

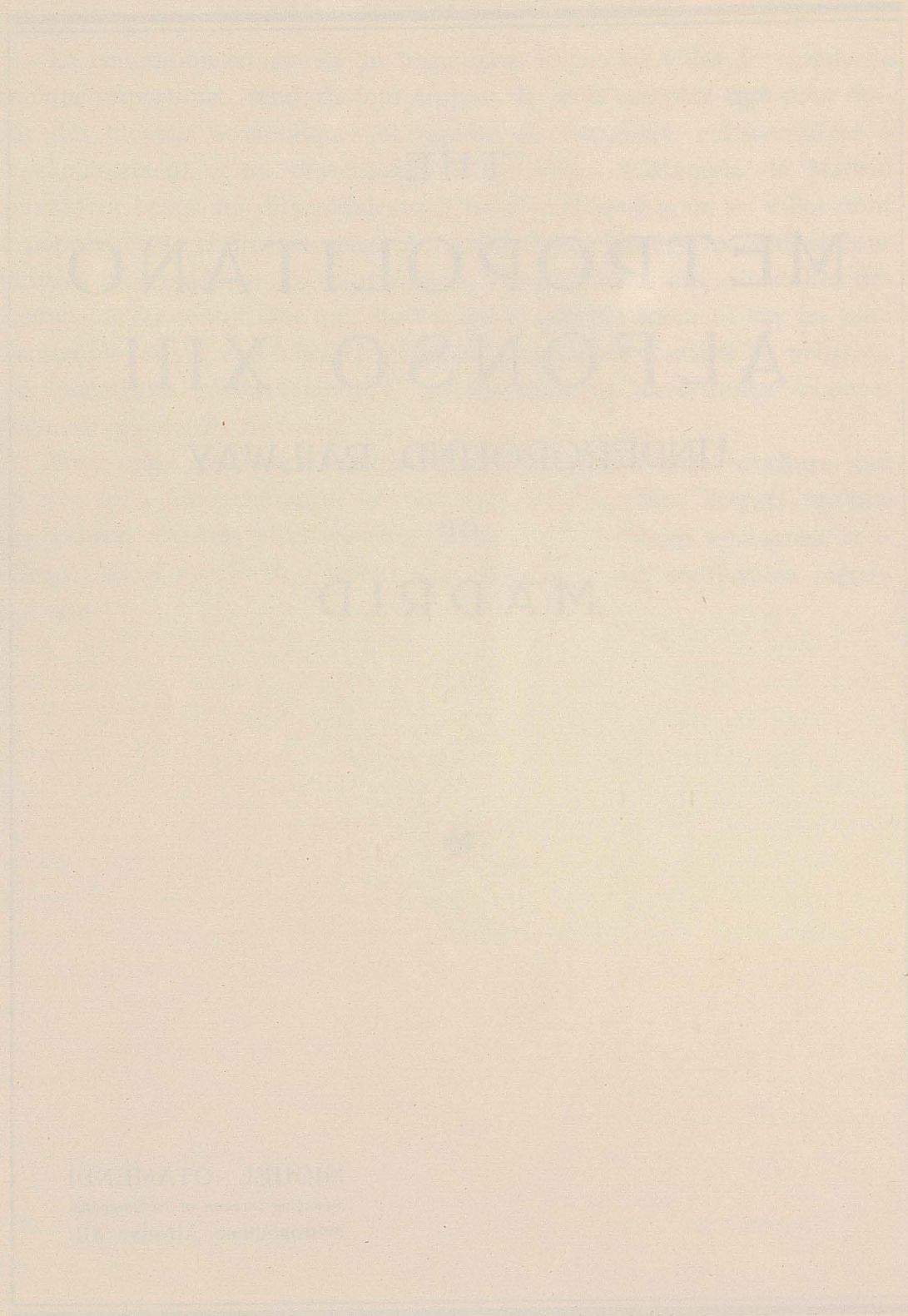
La congestion croissante du trafic dans toutes les villes du monde de quelque importance, rend, de jour en jour, le problème plus aigu pour établir des moyens économiques et rapides de transport, indispensables à l'agrandissement et au développement des villes. L'exemple de Madrid convaincra beaucoup d'incrédules que, non seulement pour les villes dont la population se chiffre par plusieurs millions d'habitants, mais aussi pour d'autres plus modestes, la solution sera, dans bien des cas, d'installer des chemins de fer souterrains qui, étudiés dès le premier moment sur un plan d'ensemble, et sur une échelle s'adaptant aux besoins à satisfaire, pourront être construits graduellement et progressivement avec toutes chances d'obtenir un succès financier.

Pour cela, nous nous sommes décidés à publier cette brochure, qui n'aspire qu'à faire connaître les résultats obtenus, dans l'espoir, qu'une fois connus, d'autres villes voudront étudier des solutions analogues, contribuant ainsi au développement des chemins de fer souterrains métropolitains.

THE
METROPOLITANO
ALFONSO XIII
UNDERGROUND RAILWAY
OF
MADRID



MIGUEL OTAMENDI
Managing Director of the Compañía
Metropolitano Alfonso XIII



ON the occasion of the "International Railway Congress", held in Madrid, the Metropolitan Underground Railway C^o has published this descriptive booklet of its construction and operating results, printed in three languages, Spanish, French and English, and presents it to the Delegates as a Souvenir of the Madrid which they are now visiting, and as a mark of esteem and appreciation to all who, by their presence and cooperation, have helped to make this important Conference a success.



The Metropolitan Underground Railway of Madrid

1. CONSTRUCTION OF THE MADRID METROPOLITAN RAILWAY

Preliminary.

IN May 1914 the Ministry of Public Works was petitioned to grant authorisation to build an underground railway in Madrid, comprising a number of lines forming a system 14 kilometers (9 miles) long, which crossed the whole city and served the most important districts.

The system was planned from the very first with due consideration to the present and future needs of the city and its probable development, so that the first lines could be extended as required by the increased traffic, itself created by the growth of Madrid.

The official census of the city, which at the beginning of the century gave a population of 550,000, has now reached 809,000 inhabitants, but if it is taken into account that this does not include temporary residents, nor the neighbouring densely populated districts of Tetuan and Puente de Vallecas, it can safely be said that this new means of transport has to deal with a million inhabitants, for although the two districts mentioned are not included in the Madrid Town Council, the Metropolitan railway lines reach them.

After all the formalities required by law had been complied with, the



Ministry of Public Works by a Royal Order of 12th January 1917, granted the concession of the Madrid Metropolitan Railway for a period of 99 years, as a secondary railway and with no State guarantee.

Constitution of the Compañía Metropolitano Alfonso XIII.

Very shortly afterwards, on the 24th January 1917, the present Company, called the Compañía Metropolitano Alfonso XIII, was constituted with a capital of 10,000,000 pesetas. The confidence in, and enthusiasm for, this new railroad was such that the whole of the shares were at once purchased by Spaniards, through the medium of the best financial firms of Vizcaya, Barcelona and Madrid, representing all classes of Spaniards from the highest of the land down to the modest owners of savings accounts.

It was decided to build at first the n° 1, or North-South, line from Cuatro Caminos to the Puerta del Sol (Fig. 1), with 8 stations and a total length of 3.598 meters (3.940 yards), which joins up the densely populated working district of Cuatro Caminos to the centre of the city, which is the Puerta del Sol. When work was started in July 1917, a notice was placed on the fence round the first pit sunk in the Puerta del Sol, which read: "OPENING OF THE NORTH-SOUTH N° 1 LINE: OCTOBER 1919"

In spite of the enormous difficulties in the way of acquiring material just after the end of the War, the Metropolitan Alfonso XIII Company kept their promise, for exactly as calculated, in October 1919 the first Underground railway in our country was opened to the public. The financial success was seen at once and it was immediately decided to increase the capital to build new lines. Favourable results obtained in these new lines have caused the capital to be still further increased, until now the Company has an issued capital of 46,000,000 pesetas in shares and 58,000,000 pesetas in debentures, all of which has been subscribed by Spaniards, and the total length of lines worked is 18 kilometers (12 miles).

The dates of opening each of the portions of the line and working length of same, are as follows:

L I N E S	Date of opening.	Length.	
		Meters.	Yards.
North-South. Cuatro Caminos-Sol. . . .	17-10-1919	3598	3940
North-South. Sol-Atocha	26-12-1921	1808	1930
North-South. Atocha-Vallecas	8- 5-1923	2297	2500
East-West. Ventas-Sol	16- 5-1924	3816	4170
East-West. Sol-Quevedo	21-10-1925	2238	2440
Branch line. Isabel II-Norte	26-12-1925	1059	1150
North-South. Cuatro Caminos-Tetuán .	6- 3-1929	1741	1900
East-West. Quevedo-Cuatro Caminos	10- 9-1929	1463	1600
		18020	19630

The whole of the staff of the Company, both for the building of the railway and for its operation, is Spanish. Preference has been given to national materials, and the only supplies imported from abroad, such as traction motors, controllers, signals, mercury vapour rectifiers, etc., are not manufactured in Spain and their cost does not exceed 5 % of the capital invested by the Company.

General description of the System.

At the present time, the system is composed of the following lines (Fig. 1) with a total length of 18020 meters (19630 yards):

Line N° 1, North-South, which runs from Tetuán-Cuatro Caminos-Puerta del Sol-Atocha-Vallecas and is 9444 meters (10300 yards) long.

Line N° 2, East-West, which runs from Ventas-Puerta del Sol-Isabel II-Quevedo-Cuatro Caminos and is 7517 meters (8200 yards) long. This line crosses above the North-South line in the Puerta del Sol and stops at Cuatro Caminos in a separate station, beside the N° 1 line station, and on the same level. This line has a shunting way to the Cuatro Caminos workshop, by which way lines n° 1 and 2 can be united.

Branch line Isabel II-North Station, 1059 meters (1160 yards) long. The Isabel II station of this line is by the side of, and on the same level as, the station of n° 2 line, so that the branch line works as a separate unit.

It is worthy of mention that the whole of the building of this railway system was carried out without interrupting, for a single day, the traffic of the streets above the tunnels (Figs. 2 & 3).

General tunnel.

The whole of the system is run through a tunnel carrying two tracks 1.445 meter (57 inches) wide. The normal section of the tunnel (Figs. 4 & 5) is sufficiently wide to admit the circulation of cars 2.40 meters wide, taking current from an overhead trolley wire.

At places where the street traffic is not very congested and the depth of the track is not great, the excavations have been carried out as trenches. The excellent quality of the soil has allowed a rapid and economical system to be used, which reduces risks to a minimum. This consists essentially of digging two narrow trenches, 0.95 meter (one yard) wide, parallel to each other and 6 meters (20 ft.) apart, and these trenches are then filled with concrete which then becomes the counter-pillars. The paving is then taken off the street and the soil dug up between the counter-pillars leaving the surface exactly corresponding to the invert of the vault. This earth radling is then trimmed and receives a layer of plaster, before the concrete is tamped down in the form of rings 4 to 6 meters long. The trench is then filled with earth, and after the cement has had time to set, the filling of the gallery is taken out by the tunnel.

This system was also used for the building of the lobby of some of the stations (Fig. 6).

At places where either the narrowness of the street, its intense traffic or the greater depth of the track, prevented this system of excavation, the tunnel was bored by the usual Belgian system. The first part to be built is the vault, either of masonry or brick, the sides are then lowered and made of the same materials and finally the floor is laid as a bed of concrete.

On account of the fact that some of the streets in the older part of central Madrid are very narrow and crooked, at places it has been found necessary to run the tunnel under the buildings. It is worthy of mention that all owners of houses thus affected, have given permission gratuitously

in their desire to cooperate in this public service which is of such an advantage to the inhabitants.

At certain special places, as for instance in the Plaza de la Cibeles, the section of the tunnel has a flat roof with intermediate supports (Fig. 7); but as this construction is more costly than the normal section of masonry vault, it has only been adopted at places where the pipe lines of the street leave little space below the paving, and the height of the tunnel has to be reduced to a minimum.

In planning the system, the minimum radius of curves is 85 meters (280 ft). The maximum gradient is 5 %, and thanks to this, the stations are at very small depths so that the steps are not many or steep, which is much appreciated by passengers. The lower station on line nº 1 at the Puerta del Sol and the Gran Vía station are the exceptions, and as these are relatively deep, lifts have been provided to carry passengers to the surface (Fig. 8).

Stations and Exits.

The section of the masonry vault of the stations (Fig. 9), is practically an elliptic arc with a clear width of 14 meters (46 ft.), with space for the double track in the middle and a platform on each side. All stations are 60 meters long (195 ft.), and the width of the platforms is 4 meters in the principal stations and 3 meters in the others. The average distance between stations is 600 meters (650 yds.) and a number of entrances are provided for each, with long galleries which extend the radius and facilitate access to the stations (Fig. 15).

A number of stations are especially provided with three tracks, as the Retiro station (Fig. 10) which is thus prepared to serve as a junction for a new line; the Isabel II station has a single platform in the part which serves the branch line to the North Railway station; finally the terminus station of Cuatro Caminos on line nº 2 (Fig. 11) has a double track and central and side platforms to facilitate changing trains, and to enable the railway to cope with the enormous number of passengers carried to this station when there is a football match in the Stadium.

Care has been taken to avoid the mistake made in many foreign Under-

ground systems, in which the entrance and stations are poorly decorated and too uniform. In the Madrid Underground an attempt has been made to attract the public accustomed to the bright light of the streets. It has therefore been necessary to make the lobbies and stations gay and well lighted (Figs. 12 & 13) and to this end great advantage has been taken of the variety of glazed tiles made in different parts of Spain. The vaults of the stations are all covered with chamfered white tiles, decorated with wide belts of Sevillian ceramics, reflecting copper and gold, whilst the head wall carries the coats of arms of different provinces (Fig. 14). The decoration of each entrance harmonises as far as possible with the district in which the station is situated; for instance, in the Puerta del Sol (Fig. 15 to 19), the centre of the city, the lobby is luxuriously decorated, the walls covered with tasteful coloured marble, crowned with a wide frieze of Toledo ceramics in relief with the coats of arms of the Spanish provinces. On the keystone over the principal doorways the emblems of the Province and City of Madrid stand out.

2. PERMANENT WAY

THE track has Vignole rails weighing 40 kgs. per meter, (27 lb per ft), made in Bilbao, carried on oak sleepers and bed plates. On the lines recently built each rail is 18 meters (20 yds) long and aluminous welding with expanding joints at every 300 meters, has been used.

The signalling system, which was at first of the pedal type, has now been changed on all the lines for alternating current rail circuits, which is more safe in its working.

The Company has two workshops and car sheds, at Cuatro Caminos and Ventas, and also owns sufficient land to extend the sheds as the length of track increases.

3. GENERATING STATION AND SUB-STATIONS

POWER is supplied as three-phase current at 15,000 volts by the three principal Electric Power companies of Madrid, and the Underground Company have also set up in the Pacifico district a reserve generating station (Figs. 20 & 21) with three groups of two-stroke Diesel engines, of 1500 HP each, direct coupled to 1000 KW alternators producing three-phase current at 15000 volts.

Fig. 20 is a general view of said Station, in which the main machine room measuring $43 \times 18,7$ meters (8700 sq. ft.) can be seen, and in which not only the three Diesel groups are housed, but also the motor-generators which form part of the Pacifico sub-station, which will be mentioned later. To the left of the machine room stands the cooling tower and on the right the accumulator shed, annexed to the sub-station, and the residence of the Engineer in charge of the electrical service of the Company. Five underground visitable fuel depots have been built near the station, each of which holds 100 cubic meters. The fuel used is Diesel oil giving 10,000 calories, or oil obtained by distilling bituminous schists from Peñarroya. The average consumption of oil is 189 grams per effective horse-power, when working on full load.

Thanks to the uniform and regular service given by the three powerful electric supply companies mentioned above, viz, Unión Eléctrica, Hidráulica Santillana and Hidroeléctrica Española, our emergency power station

scarcely needs to be put in operation during the year, and is really as its name suggests, an emergency reserve, which is indispensable on a public service of the importance of the Madrid Underground Railway.

Three sub-stations situated near the Pacifico, Principe de Vergara and Quevedo stations, transform the three-phase current at 15.000 volts into direct current at 600 volts and are provided with batteries of accumulators as a safety measure. In the early sub-stations motor-generators were used, whilst the Quevedo sub-station (Figs. 22 & 23) is provided with two mercury vapour rectifiers of 800 KW and one of 2100 KW.

4. ROLLING STOCK

THE Company owns 130 cars (Figs. 24 & 25), of which 66 are motor coaches and 64 trailers; all are 2,40 meters wide, and whilst the earlier cars were 11,75 meters (39 ft) long, the more modern coaches are 12,50 meters (41 ft). The motor coaches are each provided with four 110 HP motors with multiple unit control sets.

In order to make the coachwork more rigid, the walls have been designed on the lines of Vierendeel type beams, which also reduces the weight. There are three doors on each side of each coach and they are 1,40 meters wide. An automatic closing device keeps the doors on the side opposite the platforms closed, and at the same time controls all the doors on the side being used, which can all be closed or opened at the same time. All cars have been built in Spanish owned works at Zaragoza and Bilbao.

In order to simplify forming composite trains, the coupling is automatic. When two cars are coupled together, the electric connections and air couplings are made at the same time as the mechanical coupling.

Current is supplied overhead. Pantograph collectors were at first used, but their excessive weight, friction at joints and the rigid suspension of the collector bar have now been avoided by using a new type of collector designed and built in the Company's works, on the trolley system (Fig. 26), which has only 4 joints and weighs 40 kgs, against the 12 joints and 140 kgs of the pantograph collector. The new system has reduced the fatigue of the overhead wire to one fifth of that prevailing when the pantographs were used, the breakdowns caused by these have disappeared, and current is collected in an excellent fashion.

5 DATA ON OPERATION

Gross Receipts.

THESE is nothing so demonstrative of the progressive spirit of the Company, as the statistics of income and number of passengers in each of the 10 years' working (Fig. 27):

Year.	Annual receipts.	Number of passengers.
1920	2,207,642.91	14,627,466
1921	2,981,531.39	20,633,886
1922	4,805,591.49	30,130,202
1923	5,879,412.00	34,923,264
1924	7,531,991.37	42,328,657
1925	8,100,015.04	48,443,359
1926	10,007,304.02	67,664,276
1927	10,875,400.18	64,527,526
1928	12,057,217.32	70,748,539
1929	13,772,433.30	80,118,271

The total gross receipts for the year 1929 amounts to 824,450 pesetas per kilometer of track.

Prices of tickets vary according to the distances travelled, which is more logical than the single tariff system, as it allows reduced fares to be charged for short distances, and thus increases the utility of the railway for a greater number of passengers, who really pay in proportion to the service received from the Company.

The minimum fare is 10 centimos, and on an average fares cost from 4 to 5 centimos per kilometer. In the early hours of the morning cheap return tickets are issued for workmen.

During the year 1929, 80,118,271 passengers were carried, the average price of whose tickets was 17 centimos. The number of car-kilometers run during the year was 9,100,195.

Operation is carried out under very favourable economic conditions (Fig. 28), as the cost per car-kilometer is 60 centimos. The operating coefficient, that is the relation between expenses (not including taxation and financial charges) and income, is 0,40. We believe there is no other Underground railway in the world which works with such a favourable operating coefficient.

* * *

These are, on general lines, the essential facts of the Madrid Metropolitan Underground railway. The financial success obtained in a city of less than a million inhabitants, should prove an incentive to the building of Undergrounds in other towns of the same size, where the density of population and the congested state of traffic in narrow streets, cannot be sufficiently served by tramways and buses.

Such Companies may greatly increase their earnings by purchasing land at low prices in the outer districts, as its value increases enormously when a rapid system of underground transport is established. Such a Company in Madrid, closely allied to the Underground Company, has acquired 600,000 square meters (150 acres) near Cuatro Caminos and has built there a modern garden city and a Stadium with a capacity for 30,000 spectators.

The Municipalities can cooperate in the building of these railways by granting them the privilege, as has been done recently in Spain, of collecting a plus-valia tax, which in the legislation in force in our country, may amount to 25 % of the profit obtained by landowners when they sell their land.

The congested state of traffic in all cities of any importance, makes it continuously more difficult to establish cheap and rapid means of transport, which is however necessary if towns are to grow and expand. The example

of Madrid may convince many doubters that it is not only in cities with several million inhabitants, but also in smaller towns that the problem may be solved by underground railways, which may be financially sound, if designed from the first in accordance with a predetermined plan on a scale as required by the present needs, to be increased gradually and progressively as needed. This is the reason for the publication of our booklet in which we have endeavoured to show the results obtained, in the hope that it will induce other cities to study similar solutions; and thus contribute to the development of metropolitan underground railways.

250

21-